



TESIS - TF185471

**Pengaruh Penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  Ekstraksi Lumpur Sidoarjo sebagai Dielektrik dan Penghambur Cahaya pada *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)**

PUJI NURRAHMAWATI  
NRP. 02311650022031

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. -Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.

PROGAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN  
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Puji Nurrahmawati

NRP : 02311650022031

Tanggal Ujian: 9 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh :

1. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. (pembimbing)  
NIP. 19740903 199802 2 001

2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc. (penguji)  
NIP. 19500402 197901 1 001

3. Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D (penguji)  
NIP. 19780902 200312 1 002



Dekan Fakultas Teknologi Industri,

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T

NIP. 19690507 199512 1 001



**Pengaruh Penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  Ekstraksi Lumpur  
Sidoarjo sebagai Dielektrik dan Penghambur Cahaya pada *Dye Sensitized  
Solar Cells* (DSSC)**

Nama Mahasiswa : Puji Nurrahmawati

NRP : 02311650022031

Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT.

**ABSTRAK**

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan adanya  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dari hasil ekstraksi lumpur Sidoarjo dengan prospek dapat meningkatkan efisiensi dari *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) (Puspitasari et al, 2015). Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh dan perbedaan penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada DSSC serta membandingkan dengan  $\text{SiO}_2$  *Glass Sphere* (GS). Pada penelitian ini elektroda kerja yang digunakan adalah *flourine tin oxide* (FTO) yang dilapisi oleh  $\text{TiO}_2$  anatase/ $\text{SiO}_2$  dengan ratio 99,5%/0,5% dengan memvariasikan penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  dengan ratio berat 5%, 10%, dan 20%. Hasil yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD), *Fourier Transform InfraRed* (FT-IR), Spektroskopi *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis), *Physical Size Analyzer* (PSA), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan energi dispersi sinar-X (EDX). *Dye* yang digunakan adalah N719, larutan elektrolit iodida/triodida, dan elektroda lawan yang digunakan Pt. DSSC yang telah disusun kemudian difabrikasi dan dilakukan pengujian I-V dan *Incident Photo Current-Electron* (IPCE). Pengaruh penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada DSSC masing-masing dapat meningkatkan efisiensi sebesar 33%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan 28%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dari  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan 9%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan 21%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dari  $\text{SiO}_2$  GS. Efisiensi yang optimum pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS terdapat pada ratio penambahan 10% untuk  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan 20% untuk  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Perbedaan karakteristik dari  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo terdapat pada absorbansi yang lebih baik dan ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan  $\text{SiO}_2$  GS.

**Kata Kunci:** DSSC,  $\text{TiO}_2$ , Lumpur Sidoarjo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

*Halaman ini sengaja di kosongkan*

***Influence of the addition of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in  $\text{SiO}_2$  Extraction Sidoarjo Mud  
as Dielectric and Light Scattering on Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)***

Name : Puji Nurrahmawati  
ID Number : 02311650022031  
Supervisor : Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT.

**ABSTRACT**

*The research that has been done shows the existence of  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  and  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  from the extraction of Sidoarjo mud capable of increasing Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) efficiency (Puspitasari et al, 2015). So, this study aims to analyze the effect and the differences in the addition of  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  and  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  as a dielectric and light scattering in DSSC as well as making a comparison with  $\text{SiO}_2$  Glass Sphere (GS). In this research, the used electrodes are FTO which is coated by  $\text{TiO}_2$  anatase/ $\text{SiO}_2$  with a ratio 99.5%/0.5% by varying the addition of  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  and  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  on  $\text{SiO}_2$  with a weight ratio of 5%, 10%, and 20%. The obtained results are later characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Sepktroscopy Ultraviolet-Visible (UV-Vis), Physical Size Analyzer (PSA), Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy Dispersive X-Ray (EDX). The Dye used is N719, iodide/triiodide electrolyte solution, whereas the opposite electrode by Pt. DSSC have been compiled, then fabricated and carried out using I-V testing and Incident Photo Current-Electron (IPCE). The Effect of addition of  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  and  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  as a dielectric and light scatter in DSSC can increase the efficiency by 33%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  and 28%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  from  $\text{SiO}_2$  Sidoarjo mud and 9%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  and 21%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  from  $\text{SiO}_2$  GS. Optimum efficiency in  $\text{SiO}_2$  extracted from Sidoarjo mud and  $\text{SiO}_2$  GS is available at the ratio of adding 10% to  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  and 20% for  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . The difference is observed in the absorbance and size of  $\text{SiO}_2$  particles whereas that extracted from Sidoarjo mud are better and smaller than  $\text{SiO}_2$  GS.*

**Keyword:** DSSC,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  Sidoarjo mud,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

*Halaman ini sengaja di kosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pengaruh Penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  Ekstaksi Lumpur Sidoarjo sebagai Dielektrik dan Penghambur Cahaya pada *Dye Sensitized*”**. Penulisan tesis ini bertujuan untuk mendapatkan gelar Master Teknik, di departemen Teknik Fisika Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama proses penulisan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari pembimbing dan pihak-pihak lain, baik bantuan berupa moril maupun materil. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan serta kemampuan dalam mengerjakan tesis ini.
2. Kedua orang tua yang tercinta serta teristimewa Ayahanda dan Ibunda yang telah memberikan nasehat, dukungan moral dan materiil serta adinda senantiasa turut mendo‘akan dan memotivasi.
3. Rektor ITS, Dekan Fakultas Teknologi Industri ITS, Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS, Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Fisika ITS serta seluruh dosen dan staff Teknik Fisika ITS.
4. Ibu Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST., MT sebagai pembimbing serta penasehat akademik atas segala waktu, motivasi, saran, kesabaran dan keikhlasannya membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan tesis ini. Penelitian ini dibiayai oleh Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi a.n. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T, M.T.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc dan Agus Muhammad Hatta, ST., M.Si, Ph.D selaku Dosen penguji yang telah memberikan waktu untuk mengevaluasi dan masukkan kepada penulis.
6. Lab. Rekayasa Bahan Teknik Fisika ITS, Lab. Material dan Metarulugi ITS, Lab. Fisika Zat Padat FMIPA ITS, Lab. Kimia Analisis FMIPA ITS, Lab. Fotonik FTI ITS, Lab. Fotonik FMIPA ITB, dan Lab. Nanosains dan

Nanoteknologi ITB yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian hingga memperoleh data penelitian.

7. Bapak Chayun Budiono, M.Si berserta staff PT. Gerbang Multindo Nusantara (GMN) yang telah memberikan kesempatan pada penulis melaksanakan Kerja Praktek salah satu program studi pada bidang rekayasa energi terbarukan pascasarjana.
8. Rekan penelitian dan teman-teman rekayasa bahan, teman-teman pascasarjana Teknik Fisika ITS, Kosan pak Dardi, AQLI, dan teman-teman yang tidak disebutkan namanya satu-persatu atas bantuan, kebersamaan dan motivasinya.

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tesis ini, semoga segala kebaikan yang telah diberikan selama ini mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT. Jika terdapat kesalahan dan kekurangan dalam tesis ini, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat memberikan inspirasi bagi pembaca untuk melakukan hal yang lebih baik lagi dan semoga tesis penelitian ini bermanfaat bagi penulis khususnya.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Prinsip kerja DSSC	5
2.2 Pengaruh Modifikasi Photoanoda Terhadap Efisiensi DSSC	7
2.3 Material Penyusun Photoanoda	9
2.4 Sifat Optik Material Non-logam sebagai Dielektrik	14
2.5 Sifat Optik Material Non-logam sebagai Penghambur	15
BAB 3. METODE PENELITIAN	17
3.1 Persiapan Alat dan Bahan	18
3.2 Sintesis Photoanoda	18
3.3 Karakterisasi	21
3.4 Pembuatan Larutan Dye dan Perendaman Photoanoda	21
3.5 Pembuatan Elektrolit	22
3.6 Perakitan DSSC	22
3.7 Pengujian DSSC	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Penelitian	27

4.2 Pembahasan	66
BAB 5. KESIMPULAN	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A	A-1
LAMPIRAN B	B-1
LAMPIRAN C	C-1
LAMPIRAN D	D-1
LAMPIRAN E	E-1
LAMPIRAN F	F-1
LAMPIRAN G	G-1
LAMPIRAN H	H-1
BIODATA PENULIS	I-1

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip kerja DSSC (Kumara dan Prajitno, 2012)	6
Gambar 2.2	Struktur dari (a) Anatase dan (b) Rutile (Ullattil, 2017).	9
Gambar 2.3	Struktur kubik dari $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Gangwar et al., 2015).	12
Gambar 2.4	Perubahan fasa Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> berdasarkan variasi suhu <i>sintering</i> (Ohkoshi et al., 2015).	13
Gambar 2.5	Skema hamburan cahaya (Fan et al., 2017)	16
Gambar 3.1	Diagram alir Penelitian	17
Gambar 3.2	(a) $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> dan (b) $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	20
Gambar 3.3	Photoanoda (a) $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub> dan (b) $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub>	21
Gambar 3.4	Perakitan DSSC	23
Gambar 3.5	(a) Kurva I-V sel surya yang menunjukkan <i>maximum power point (MPP)</i> dan (b) rangkaian ekivalen sel surya (Chotimah et al, 2012)	24
Gambar 4.1	XRD anatase TiO <sub>2</sub>	27
Gambar 4.2	XRD dari nanopartikel $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28
Gambar 4.3	Absorbansi dari nanopartikel $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28
Gambar 4.4	Energi gap dari nanopartikel $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29
Gambar 4.5	Distibusi ukuran nanopartikel $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29
Gambar 4.6	XRD dari nanopartikel $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30
Gambar 4.7	UV-Vis dari nanopartikel $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31
Gambar 4.8	Energi celah pita nanopartikel $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31
Gambar 4.9	Distribusi ukuran nanopartikel $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32
Gambar 4.10	Pola XRD SiO <sub>2</sub>	33
Gambar 4.11	FT-IR SiO <sub>2</sub>	33
Gambar 4.12	UV-Vis SiO <sub>2</sub>	35
Gambar 4.13	Energi celah pita dari SiO <sub>2</sub>	36
Gambar 4.14	Distribusi ukuran partikel dari jenis SiO <sub>2</sub>	36
Gambar 4.15	Hasil pengujian SEM dari SiO <sub>2</sub> pada perbesaran 20.000× (a) lumpur Sidoarjo (b) GS (c) GS dengan perbesaran 100.000×	37

Gambar 4. 16	XRD dari variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.	39
Gambar 4.17	FT-IR dari variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ lumpur sidoarjo dan GS	41
Gambar 4.18	Absorbansi dari variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.	43
Gambar 4.19	Energi celah pita dari variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.	44
Gambar 4.20	Distibusi ukuran partikel pada variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	45
Gambar 4.21	Hasil pengujian SEM dari fraksi penambahan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan perbesaran 20.000 $\times$ pada fraksi (a) 5%, (b) 10%, dan (c) 20% pada $\text{SiO}_2$ lumpur Sidoarjo, (d) 10% pada $\text{SiO}_2$ GS, dan (e) 10% pada $\text{SiO}_2$ GS dengan perbesaran 100.000 $\times$	46
Gambar 4.22	Kurva J-V dari photoanoda variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) lumpur Sidoarjo, (b) GS	48
Gambar 4.23	Grafik IPCE dari variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) lumpur Sidoarjo, dan (b) GS dengan photoanoda $\text{TiO}_2$ .	50
Gambar 4.24	XRD dari variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.	53
Gambar 4.25	XRD dari variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) GS.	55
Gambar 4.26	Absorbansi dari variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.	57
Gambar 4.27	Energi celah pita dari variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.	58
Gambar 4.28	Distibusi ukuran partikel pada variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ .	59
Gambar 4.29	Hasil pengujian SEM dari fraksi penambahan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dengan perbesaran 20.000 $\times$ pada fraksi (a) 5%, (b) 10%, dan (c) 20% pada $\text{SiO}_2$ lumpur Sidoarjo, (d) 20% pada $\text{SiO}_2$ GS, dan (e) 20% pada $\text{SiO}_2$ GS dengan perbesaran 100.000 $\times$	60
Gambar 4.30	Kurva J-V dari photoanoda variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (a) lumpur Sidoarjo dan (b) GS	62

Gambar 4.31	Grafik IPCE dari variasi $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> dengan photoanoda TiO <sub>2</sub>	66
Gambar 4.32	Variasi dari nilai indek bias (a) $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpur Sidoarjo, (b) $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> GS, (c) $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan (d) $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / SiO <sub>2</sub> GS	67
Gambar 4.33	Variasi dari nilai konstanta dielektrik real (a) $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpur Sidoarjo, (b) $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> GS, (c) $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpu Sidoarjo dan (d) $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / SiO <sub>2</sub> GS	68
Gambar 4.34	Transfer elektron pada penambahan $\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Zeng et al., 2016)	69
Gambar 4.35	Transfer elektron pada penambahan $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Noh et al., 2013)	70
Gambar A-1	Skema kerja XRD (Rahman, 2008)	A-1
Gambar B- 1	Skema prinsip kerja FT-IR	B-1
Gambar C- 1	Skema PSA	C-1
Gambar D- 1.	Skema sederhana prinsip kerja UV-Vis	D-1

*Halaman ini sengaja di kosongkan*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Modifikasi photoanoda dengan peningkatan efisiensi DSSC	8
Tabel 2.2	Sifat dari $\text{TiO}_2$ anatase dan rutile (Hanaor & Sorrell, 2011).	10
Tabel 2.3	Fasa kristal, struktur kristal, nilai celah pita, suhu transformasi, dan fasa transformasi (Gangwar et al., 2015).	12
Tabel 3.1	Sampel berdasarkan variasi photoanoda pada DSSC	23
Tabel 4.1	Nilai FWHM dan Ukuran kristal	33
Tabel 4.2	Hasil analisis FT-IR pada $\text{SiO}_2$ lumpur Sidoarjo dan $\text{SiO}_2$ GS	34
Tabel 4.3	Komposisi $\text{SiO}_2$	38
Tabel 4.4	Nilai $2\theta$ , FWHM, ukuran kristal pada variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS.	40
Tabel 4.5	Hasil analisis FT-IR pada variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ lumpur Sidoarjo	42
Tabel 4.6	Komposisi dari variasi fraksi penambahan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada $\text{SiO}_2$	47
Tabel 4.7	Data pengukuran performansi DSSC dari photoanoda variasi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	49
Tabel 4.8	Nilai $2\theta$ , FWHM, ukuran kristal pada variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS.	54
Tabel 4.9	Hasil analisis FT-IR pada variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ lumpur Sidoarjo dan GS	56
Tabel 4.10	Komposisi dari variasi fraksi penambahan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada $\text{SiO}_2$	61
Tabel 4.11	Data pengukuran performansi DSSC dari photoanoda variasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	63
Tabel G- 1.	Hasil perhitungan efisiensi DSSC	G-1

*Halaman ini sengaja di kosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Generasi ketiga dari solar sel adalah *Dye Sensitized Solar cells* (DSSC) ini dipilih karena biaya fabrikasi yang murah, proses fabrikasi sederhana serta dapat meningkatkan efisiensi *Incident Photon to Current Conversion Efficiency* (IPCE) sebesar 80% (O'Regan & Grätzel, 1991)(Grätzel, 2003). Struktur DSSC disusun seperti *sandwich* terdiri dari photoanoda, *sensitizer*, elektrolit dan elektroda lawan. Photoanoda yang biasa digunakan pada DSSC adalah metal oksida seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ , dan  $\text{ZnO}$ . Photoanoda yang digunakan oleh Grätzel adalah  $\text{TiO}_2$  karena memiliki energi gap sekitar 3,2 eV, inert, dan tidak berbahaya (Grätzel, 2003).  $\text{TiO}_2$  dalam DSSC berfungsi sebagai penghasil cahaya karena penyerapan cahaya yang baik terutama pada penyerapan cahaya ultraviolet (UV) dari sinar matahari, memiliki mobilitas elektron yang tinggi, penyerapan pewarna yang stabil, dan memiliki ketahanan korosi yang baik (Grätzel, 2003) (Ahmad et al., 2017). Namun,  $\text{TiO}_2$  sebagai photoanoda memiliki kelemahan yaitu rendahnya transfer muatan antarmuka dan sifat optis yang kurang baik (Pandikumar et al., 2016).

Penelitian yang dilakukan sebelumnya mengenai penambahan  $\text{SiO}_2$  pada  $\text{TiO}_2$  untuk meningkatkan efisiensi dikarenakan sebagai penghambur cahaya, dapat meningkatkan luas permukaan, dan dapat meningkatkan konversi photon ke elektron. Lapisan  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  pada aplikasi sel surya dapat dilihat dari penelitian multilayer  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  menunjukkan adanya resonansi foton yang terjadi dalam penyerapan elektroda sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari (5% berat  $\text{TiO}_2$  dan 1% berat  $\text{SiO}_2$  0,221% menjadi 5% berat  $\text{TiO}_2$  dan 5% berat  $\text{SiO}_2$  0,541%) dikarenakan pemanenan cahaya yang berulang kali yaitu sebagai lapisan penghambur (Colodrero et al., 2009). Melapisi  $\text{TiO}_2$  dengan  $\text{SiO}_2$  bertujuan untuk memperlambat rekombinasi antarmuka, komposit  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  (P25) memiliki efisiensi yang lebih tinggi yaitu 8,4% dari pada  $\text{TiO}_2$  (P25) yaitu 5,8% (Niu et al., 2012). Komposit  $\text{TiO}_2$  dengan  $\text{SiO}_2$  dapat meningkatkan luas permukaan, sehingga dapat menyerap dye dan meningkatkan photosensitivitas terhadap radiasi matahari

(Kumar et al., 2012). Pada penelitian Tanvi (2016) campuran 0,75% berat SiO<sub>2</sub> mesopori dengan film tipis TiO<sub>2</sub> dapat mengkonversikan daya pada photoanoda sebesar 3,57%. Penelitian Budiarti et al (2015) mengenai potensi SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo menghasilkan nilai IPCE 2,604% sehingga dapat diaplikasikan pada DSSC. Efisiensi dihasilkan masih rendah dengan menggunakan photoanoda TiO<sub>2</sub>(anatase:rutile)/SiO<sub>2</sub> sebesar 0,000438% (Budiarti et al., 2015) dan photoanoda TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo sebesar 0,0020% lebih tinggi dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> dari prekursor *tetraethyl-orthosilicate* (TEOS) yaitu 0,0003% (Puspitasari et al, 2015). Pada penelitian Puspitasari et al (2015) efisiensi TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan ada senyawa lain dari hasil ekstraksi lumpur Sidoarjo (Puspitasari et al, 2015) (Budiarti et al., 2015).

Kandungan senyawa yang terdapat pada lumpur Sidoarjo yaitu : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan persentase kadar 14%; 44,8%; 3,1%; 5,24%; 2,09%; 0,46%; dan 30,2% (Mustopa et al., 2013). Kandungan lumpur Sidoarjo yang terbanyak adalah senyawa SiO<sub>2</sub>. Sifat SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo yaitu memiliki kestabilan tinggi terhadap mekanik, temperatur dan kondisi asam (Adziimaa et al., 2013). Pada penelitian ini SiO<sub>2</sub> diperoleh dengan metode kopresipitasi kontinu akan digunakan dalam mengekstraksi SiO<sub>2</sub> pada lumpur Sidoarjo. Metode ini menghasilkan kemurnian SiO<sub>2</sub> mencapai 98,81% (Fadli & Tjahjanto, 2013). Hasil XRD yang diperoleh dari penelitian tersebut, SiO<sub>2</sub> memiliki bentuk amorf yang terdapat pada puncak 2θ≈26°. SiO<sub>2</sub> dipilih karena memiliki porositas dan luas permukaan yang lebar sehingga dapat menyerap *dye* lebih besar, serta memiliki sifat yang dapat menghamburkan cahaya dan absorbansi cahaya yang kuat. Selain itu, absorbansi cahaya yang kuat dapat meningkatkan penghasil cahaya serta mengurangi rekombinasi sehingga dapat meningkatkan efisiensi hingga 50% (Tanvi et al., 2016).

SiO<sub>2</sub> *glass sphere* (GS) atau disebut juga dengan *glass beads* merupakan bahan komersial yang digunakan sebagai pembanding pada penelitian ini. SiO<sub>2</sub> GS berukuran 9-1,3µm. Bentuk fisik dari *data sheet* SiO<sub>2</sub> GS berupa *hollow* dan bola-bola *glass beads* yang tidak berpori. Isu mengenai peningkatan pemanenan cahaya dengan mengatur lapisan penghambur cahaya dapat menggunakan *hollow sphere* (Wang et al., 2010) dan lapisan SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> (Colodrero et al., 2009). Pada penelitian

Wang (2015) menggunakan  $\text{SiO}_2$  *hollow glass beads* dengan ukuran 7,5-35  $\mu\text{m}$  memperoleh efisiensi yaitu pada  $\text{SiO}_2$  *curved* sebesar 9,22%, efisiensi *curved* lebih optimum dibandingkan  $\text{SiO}_2$  *pristine* dan *planar* yaitu 6,51% dan 7,51% didalam photoanoda  $\text{TiO}_2$  (Wang et al., 2015).

Pada penelitian ini akan dilakukan fabrikasi DSSC dengan photoanoda  $\text{TiO}_2$  dengan menganalisa penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ . Partikel  $\text{SiO}_2$  yang digunakan berasal dari ekstraksi lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  *glass sphere* (GS) sebagai pembanding. Pewarna yang digunakan adalah N719 sedangkan elektrolit yang digunakan iodida/triodida. Pada penelitian ini akan diberikan perlakuan memvariasikan penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo yang merupakan salah satu cara modifikasi photoanoda DSSC. Penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  berdasarkan penelitian Puspitasari (2015) bahwa kedua senyawa oksida tersebut muncul sebagai pengotor  $\text{SiO}_2$ . Kedua senyawa tersebut dapat menghambat rekombinasi dikarenakan memiliki konstanta dielektrik bahan yang berbeda, nilai indeks bias yang besar dipengaruhi oleh konstanta dielektrik dari bahan. Nilai indeks bias dari  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  masing-masing adalah 2,5; 1,5; 1,7; dan 3,3 dan konstanta dielektrik yaitu 80; 3,9; 9,7; dan 10,3 (Waterhouse et al., 2015) (Lee et al, 2007) (Rashid et al., 2016) (Bodurov, 2016). Perbedaan indeks bias yang besar akan memberikan efek hamburan cahaya yang kuat (Son et al., 2012). Peningkatan hamburan cahaya pada photoanoda dapat menghasilkan kerapatan arus dan efisiensi yang besar (Sulaeman & Zuhairi, 2017). Adanya peningkatan kerapatan arus menyebabkan efisiensi konversi daya DSSC juga meningkat 50% akibat adanya partikel penghambur (Wang et al., 2013).

## 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini membandingkan karakteristik  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dengan  $\text{SiO}_2$  GS dan memvariasikan persentase  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Berdasarkan latar belakang di atas permasalahan dari penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada photoanoda DSSC?

- b. Bagaimana karakteristik  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dibandingkan dengan  $\text{SiO}_2$  GS sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada DSSC?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan di atas tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini, adalah:

- a. Diperoleh hasil analisis pengaruh dari  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada photoanoda DSSC.
- b. Diperoleh hasil perbedaan karakteristik pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada DSSC.

### 1.4 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini, sebagai berikut:

- a.  $\text{SiO}_2$  diekstraksi dengan metode kopresipitasi kontinu yang dilakukan oleh Adziimaa et al (2013),
- b. Nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  disintesis dengan metode presipitasi yang telah dilakukan oleh Rahmanpour et al (2012),
- c. Nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  disintesis dengan metode presipitasi yang telah dilakukan oleh Lassoued et al (2017),
- d. Nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  yang ditambahkan pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo menggunakan bahan sintesis dengan masing-masing persentase 5%, 10%, dan 20% (Sebehanie, 2017), (Reda, 2013),
- e.  $\text{TiO}_2$  dibuat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Castro et al (2008).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo ini prospek kedepan yang bermanfaat baik dalam segi ilmu maupun aplikasi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk pengembangan DSSC.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

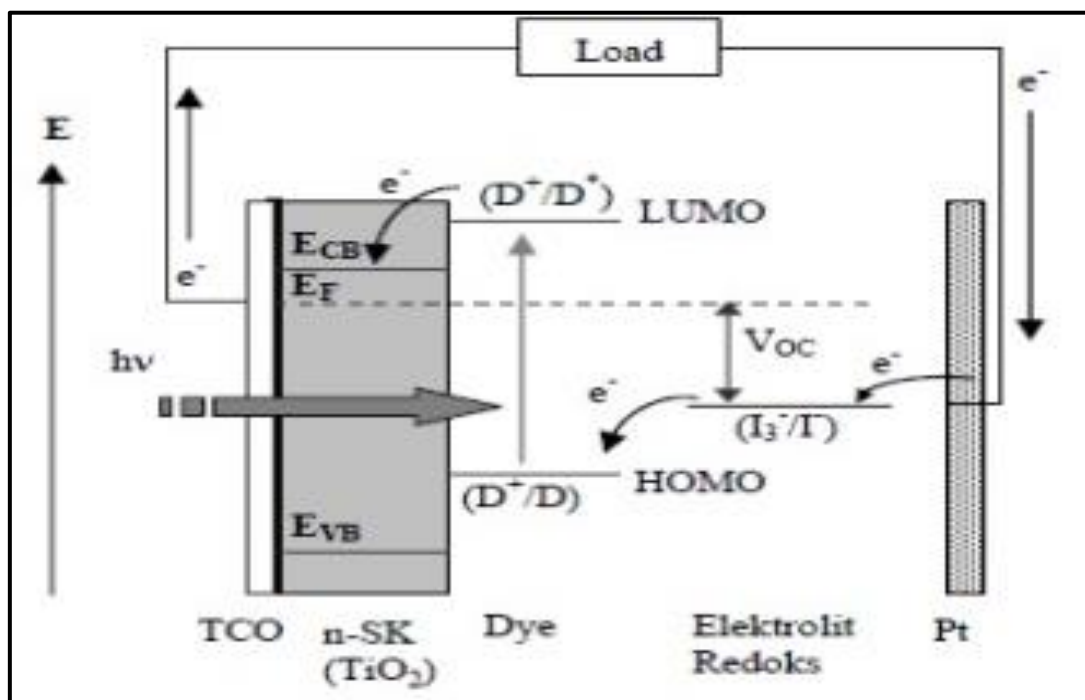
#### **2.1 Prinsip kerja DSSC**

DSSC tersusun dari empat bagian yaitu elektroda kerja, dye, elektrolit dan elektroda lawan. Berikut susunan DSSC:

- a. Elektroda kerja merupakan substrat konduktif yang dilapisi oleh semikonduktor. Substrat yang biasanya digunakan adalah *Transparent Conductive Oxides* (TCO) yang merupakan kaca transparan konduktif. TCO yang umum digunakan pada aplikasi ini adalah *Flourine Tin Oxides* (FTO) dan *Indium Tin oxides* (ITO). FTO dipilih karena tahan terhadap suhu lebih dari 300°C dan efisiensi FTO (6,47%) paling baik dibandingkan ITO (2,73%). Semikonduktor pada umumnya digunakan adalah TiO<sub>2</sub> (O'Regan, Grätzel, 1991), SnO<sub>2</sub> (Li et al., 2014), ZnO (Ke et al., 2010), dan lain-lainnya.
- b. *Dye* merupakan pewarna yang dapat diserap oleh suatu material (photosensitiser). Photosensitiser adalah material yang memberikan pengaruh sensitisasi semikonduktor terhadap cahaya. Persyaratan yang harus terpenuhi sebagai photosensitizer yaitu penyerapan terjadi pada rentang cahaya tampak, sehingga terjadi absorpsi yang kuat pada permukaan semikonduktor (Halme, 2002). Dye N719 yang diserap pada TiO<sub>2</sub> memberikan efisiensi sebesar 2,52% (Richhariya et al., 2017).
- c. Elektrolit berfungsi untuk meregenerasi elektron pada dye yang telah mengalami eksitasi. Elektrolit yang digunakan harus memiliki stabilitas jangka panjang, yaitu stabil pada reaksi kimia, termal, optik dan elektrokimia, sehingga tidak menyebabkan desorpsi dan degradasi zat warna pada permukaan oksida (Wu et al., 2008). Elektrolit yang biasa digunakan adalah pasangan redoks iodide/triiodide.
- d. Elektroda lawan merupakan TCO yang dilapisi bahan yang memiliki hambatan transfer muatan yang rendah dan kerapatan arus yang tinggi untuk mengurangi oksidasi dari perantara muatan (Kay & Grätzel, 1996). Pada umumnya elektroda lawan yang digunakan adalah platina (Pt) karena

efisiensi kataliknya yang tinggi dibanding dengan karbon (C) (Halme, 2002).

Prinsip kerja pada DSSC dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1, yaitu ketika foton dari sinar matahari mengenai elektroda kerja pada DSSC, maka akan terjadi eksitasi elektron pada molekul *dye* dari level *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) ke LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*). Elektron akan terinjeksi menuju pita konduksi, sehingga molekul *dye* teroksidasi. Elektrolit ( $I^-$ ) akan memberikan elektron pada molekul *dye* sehingga molekul *dye* kembali pada keadaan awal dan mencegah rekombinasi oleh *dye* yang teroksidasi. Elektron yang tereksitasi bergerak ke elektroda kerja dan mengalir menuju rangkaian eksternal. Elektron ditransfer ke elektrolit pada katoda. Elektrolit yang mengandung  $I^-/I_3^-$  digunakan sebagai pemisah antara katoda dan photoelektroda (semikonduktor). Ion  $I_3^-$  akan melayang-layang sampai mencapai katoda untuk mengganti elektron yang hilang dari elektroda lawan. Kemudian ion  $I^-$  dibangkitkan kembali dengan mereduksi  $I_3^-$  pada katoda dan siklus akan selesai dengan adanya imigrasi elektron melewati beban eksternal.



Gambar 2.1 Prinsip kerja DSSC (Kumara dan Prajitno, 2012)



## 2.2 Pengaruh Modifikasi Photoanoda Terhadap Efisiensi DSSC

Modifikasi photoanoda dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari DSSC. Modifikasi photoanoda dilakukan karena terjadi rekombinasi elektron yang tinggi terhadap molekul pewarna dan juga elektrolit. Proses rekombinasi adalah suatu proses dimana elektron yang diinjeksikan dari *dye* ke pita konduksi  $\text{TiO}_2$  mengalir kembali ke *dye*, merupakan salah satu fenomena yang banyak terjadi pada sel surya DSSC sehingga perolehan efisiensi menjadi rendah. Modifikasi photoanoda berbasis  $\text{TiO}_2$  untuk mengurangi rekombinasi berkaitan dengan (Sulaeman & Abdullah, 2017):

- a. Desain *blocking layer* efektif jika : 1) *Blocking layer* dibuat dengan lapisan sangat tipis yang berfungsi meningkatkan performansi karena efektif dalam menekan rekombinasi elektron pada antarmuka elektrolit/FTO. 2) Pita Konduksi dari *blocking layer* dibuat pita konduksi yang rendah dapat mengurangi rekombinasi karena meningkatkan umur elektron-pembawa. 3) Kontak lapisan yang baik untuk mencegah ion elektrolit infiltrasi ke permukaan.
- b. Modifikasi struktur nano 1-dimensi dapat memberikan jalur transfer elektron yang baik. Struktur nano 1-dimensi yaitu *nanorod*, *nanotube*, dan *nanowire*.
- c. Generasi efek hamburan tinggi menggunakan dua cara yaitu sistem *bilayer* dan *core-shell*. 1) sistem *bilayer* dapat dilihat pada panjang gelombang 550-700 nm pada IPCE adalah efek dari penghamburan. 2) pada *core-shell* dapat dilihat perbedaan indeks bias yang besar dapat memberikan efek hamburan cahaya yang sangat tinggi.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performansi dan efisiensi DSSC, diantaranya menggunakan *desain blocking layer*, modifikasi struktur nano 1-dimensi, dan generasi efek hamburan. Masing-masing perlakuan memiliki efek yang berbeda-beda yang dapat meningkatkan efisiensi DSSC. Pada Tabel 2.1 diperlihatkan beberapa hasil penelitian dalam memodifikasi photoanoda dengan efek hamburan serta efisiensi dari DSSC. Terlihat bahwa semua modifikasi photoanoda yang telah dimodifikasi memiliki efisiensi yang lebih tinggi

dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni. Peningkatan efisiensi yang dicapai beragam dalam rentang ~4,9% - 50%.

Tabel 2.1 modifikasi photoanoda dengan peningkatan efisiensi DSSC

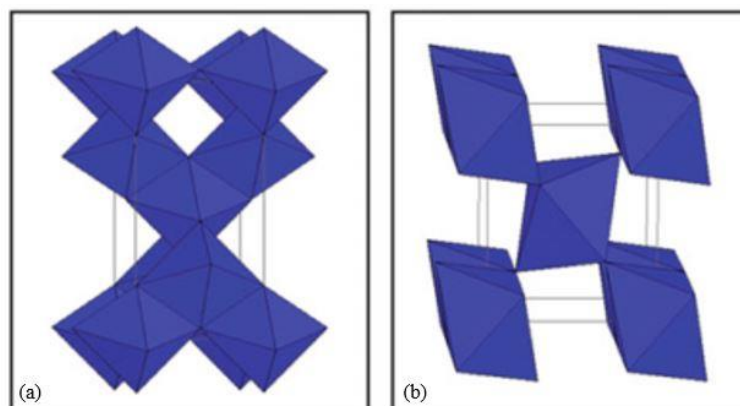
Photoanoda	Variasi	Efisiensi	Kenaikkan Efisiensi	Referensi
TiO <sub>2</sub> hibrida	50% TiO <sub>2</sub> (P25) : 50% TiO <sub>2</sub> dengan ukuran partikel rata-rata ~2,7 $\mu$ m	TiO <sub>2</sub> hibrida (7,02%) TiO <sub>2</sub> (P25) (5,16%)	36,4%	(Chou et al., 2012)
Komposit TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub>	Ratio berat SiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> (P25) (5,8%) 7,5% SiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub> (8,4%)	44,8%	(Niu et al., 2012)
TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ratio berat Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan pH	TiO <sub>2</sub> (47,07%) TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (pH 7; 0,012wt%) (49,38%)	4,9%	(Lee et al., 2012)
TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> <i>core/shell</i>	Ukuran partikel	TiO <sub>2</sub> (7,4%) TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> (240 nm) (7,9%)	6,7%	(Son et al., 2013)
TiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub> (5,21%) TiO <sub>2</sub> /10% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (7,27%)	39,53%	(Bayram et al, 2015)
Double layer photoanoda TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub>	Variasi volume etanol : volume air, waktu	Pristine TiO <sub>2</sub> (6,21%) V2,5/1, 30min (8,86%)	42,7%	(Yang et al., 2016)
TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>Shell/Core</i>	Ketebalan dari TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1 kali pengulangan dari TiCl <sub>4</sub> ) (0,517%) TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (4 kali pengulangan dari TiCl <sub>4</sub> ) (0,771%)	49,1%	(Xie et al, 2018)
ZnO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ratio berat	ZnO (0,0022%) ZnO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (80:20) (0,00224%)	9,09%	(Sebehanie, 2017)

## 2.3 Material Penyusun Photoanoda

Material penyusun Photoanoda terdiri dari  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur sidoarjo,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{TiO}_2$  anatase.

### 2.3.1 $\text{TiO}_2$ Anatase

$\text{TiO}_2$  anatase dapat diaplikasikan sebagai pigmen, fotokatalis, solar sel, penyimpanan dan produksi hidrogen (Ullattil, 2017). Pita konduksi  $\text{TiO}_2$  berada sedikit dibawah level energi keadaan tereksitasi berbagai pewarna, kondisi ini membuat injeksi elektron lebih efisien karena mempengaruhi injeksi elektron dari molekul pewarna ke dalam semikonduktor oksida (Kay & Grätzel, 1996). Pada  $\text{TiO}_2$  anatase lebih fotoaktif dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  rutile, hal ini dikarenakan luas permukaan anatase lebih besar daripada rutile sehingga sisi aktif anatase lebih besar dibandingkan yang dimiliki rutile. Selain itu,  $\text{TiO}_2$  anatase merupakan photoelektroda yang stabil pada sel photoelektrokimia, meskipun dioperasikan dalam kondisi ekstim. Karena itu  $\text{TiO}_2$  anatase lebih disukai sebagai photoanoda untuk DSSC (Ullattil, 2017).  $\text{TiO}_2$  anatase dapat terbentuk dengan adanya pemanasan, namun akan berubah menjadi rutile pada suhu  $600^\circ\text{C}$ - $700^\circ\text{C}$  (Pillai et al., 2007). Struktur dari  $\text{TiO}_2$  anatase dan rutile dapat dilihat pada Gambar 2.2.  $\text{TiO}_2$  anatase terdapat pada bidang kristal (112) dan rutile pada (100). Sifat dari  $\text{TiO}_2$  anatase dan rutile dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Gambar 2. 2 Struktur dari (a) Anatase dan (b) Rutile (Ullattil, 2017).

Tabel 2.2 Sifat dari TiO<sub>2</sub> anatase dan rutile (Hanaor & Sorrell, 2011).

Sifat	Anatase	Rutile
Struktur kristal	Tetragonal	Tetragonal
Atom per sel satuan	4	2
Parameter Kisi (nm)	a= 0,3785 c=0,9514	a= 0,4594 c=0,29589
Volume sel satuan (nm <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>	0,1363	0,0624
Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	3894	4250
Perhitungan energi gap tidak langsung (eV)	3,23-3,59	3,02-3,24
(Nm)	345,4-383,9	382,7-410,1
Eksperimen energi gap (eV)	~3,2	~3,0
(Nm)	~387	~413
Indeks bias	2,54; 2,49	2,79; 2,903

TiO<sub>2</sub> memiliki konstanta dielektrik yang tinggi yaitu  $\epsilon = 48$ , sehingga menjadi pelindung listrik yang baik dari elektron terinjeksi molekul pewarna teroksidasi yang menempel pada permukaan TiO<sub>2</sub>, hal ini mencegah rekombinasi sebelum reduksi pewarna oleh elektrolit redoks (Ullattil, 2017). TiO<sub>2</sub> anatase juga memiliki indeks bias yang tinggi yaitu  $n=2,5$  sehingga menghasilkan hamburan cahaya yang efisien dalam photoelektroda, yang secara signifikan meningkatkan absorbansi cahaya.

### 2.3.2 SiO<sub>2</sub> Ekstraksi Lumpur Sidoarjo

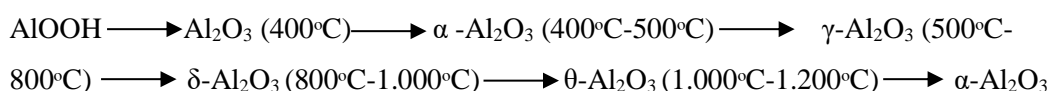
SiO<sub>2</sub> hasil ekstraksi lumpur sidoarjo terdapat pada puncak  $2\theta \approx 26^\circ$  dengan struktur kristal amorf (Adziimaa et al, 2013). Morfologi dari SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo adalah bola-bola kecil yang cukup halus dan tidak beraturan dengan ukuran ~50 nm (Budiarti et al, 2017). Luas permukaan dari SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo yaitu 69,9 m<sup>2</sup>/g. Selain itu, SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo memiliki diameter pori dan volume pori masing-masing 4,32 nm dan 0,366 cc/g (Puspitasari, 2016). Sifat SiO<sub>2</sub> dari lumpur Sidoarjo yaitu memiliki kestabilan tinggi terhadap

mekanik, temperatur dan kondisi asam (Adziimaa et al., 2013). Hasil dari  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo terdapat senyawa pengotor yaitu  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , kehadiran senyawa tersebut dapat menghambat rekombinasi dan sebagai partikel penghambur sehingga kemampuan absorpsi dye lebih besar (Puspitasari et al., 2015).

$\text{SiO}_2$  dipilih sebagai photoanoda memiliki sifat yang dapat menghamburkan cahaya dan absorbansi cahaya yang kuat.  $\text{SiO}_2$  sebagai penghambur dikarenakan memiliki perbedaan indeks bias ( $n \text{ SiO}_2=1,5$  dan  $n \text{ TiO}_2 = 2,5$ ), sehingga memiliki kinerja sebagai partikel penghambur yang baik dan adanya  $\text{SiO}_2$  dapat mengurangi aglomerasi dari  $\text{TiO}_2$  yang mengakibatkan konversi photon menjadi elektron lebih besar (Niu et al., 2012). Selain itu, dengan absorbansi cahaya yang kuat dapat meningkatkan pemanenan cahaya dan mengurangi rekombinasi serta meningkatkan efisiensi hingga 50% (Tanvi et al., 2016).  $\text{SiO}_2$  sebagai bahan dielektrik karena  $\text{SiO}_2$  adalah salah satu dari bahan insulator dengan nilai konstanta dielektrik 3,9.

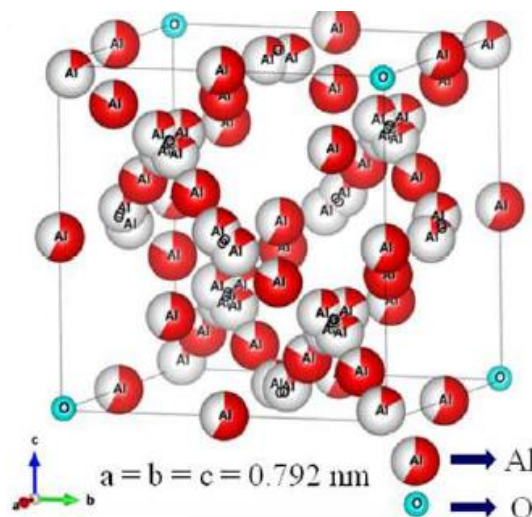
### 2.3.3 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Struktur kristal dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki fasa metastabil yaitu  $\gamma$ -,  $\delta$ -,  $\theta$ -,  $\iota$ -, dan  $\sigma$ -. Struktur kristal dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan fasa  $\alpha$ - adalah fasa yang stabil pada suhu tinggi dibawah titik leleh. Masing-masing fasa dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat mengalami peralihan berdasarkan suhu. Selain itu, memiliki energi celah pita yang berbeda-beda sesuai dengan aplikasi yang akan digunakan. Fasa struktur kristal, energi celah pita, suhu transformasi, dan fasa transformasi dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat dilihat pada tabel 2.3. Perubahan fasa juga dapat terjadi dengan melakukan variasi suhu kalsinasi, berikut perubahan fasa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dari variasi suhu kalsinasi dengan perkursor  $\text{AlOOH}$  (boehmite) (Gangwar et al., 2015):



Tabel 2.3 fasa kristal, struktur kristal, nilai celah pita, suhu transformasi, dan fasa transformasi (Gangwar et al., 2015).

Alumina <i>polymorphs</i>	Struktur kristal	Nilai energi pita celah (eV)	Suhu transformasi (°C)	Transformasi ke
$\sigma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	kubik	-		
$\iota$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Orthorhombik	3,00		
$\eta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kubik		600-800	$\delta$ (tetragonal)
$\chi$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kubik		650-750	$\kappa$ (orthorhombik)
$\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kubik	4,40	700-800	$\theta$ (monoklinik)
$\kappa$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Orthorhombik	5,49	900-1050	$\alpha$ (heksagonal)
$\delta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tetragonal	-	900-1000	$\theta$ (monoklinik)
$\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Monoklinik	5,04	1000-1100	$\alpha$ (heksagonal)
$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hexagonal	9,5	2072	<i>Liquid</i>



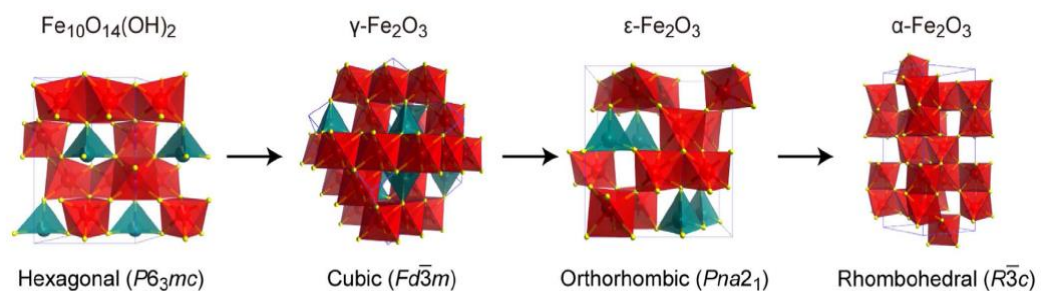
Gambar 2.3 Struktur kubik dari  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Gangwar et al., 2015).

$\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat diaplikasikan sebagai keramik, katalis, adsorben, dan aplikasi yang memerlukan luas permukaan yang tinggi (Gangwar et al., 2015).  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terbentuk pada suhu 400°C-700°C. Struktur kristal  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terbentuk adalah kubik pada Gambar 2.3. Struktur kristal  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terdapat pada sudut  $2\theta = 37,76^\circ$ ;  $39,44^\circ$ ;  $45,80^\circ$ ;  $61,06^\circ$ ; dan  $66,92^\circ$ . Puncak  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> muncul pada bidang hkl (311), (222), (400), (511), dan (440) (Gangwar et al., 2015).

$\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki energi gap 4,4 eV yaitu terdapat pada panjang gelombang 550 nm. Konstanta dielektrik dari  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 8,48 (Lee et al., 2007) dan nilai indek bias sekitar 1,054-1,073 (Waterhouse et al., 2015). Kandungan lumpur Sidoarjo terdapat 14%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Mustopa et al., 2013). Pada hasil ekstraksi  $\text{SiO}_2$  terdapat pengotor  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Budiarti et al., 2017). Pada aplikasi DSSC dapat meningkatkan performa sebesar 30% dengan adanya penambahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Palomares et al., 2002), hal ini dikarenakan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  berfungsi sebagai penghalang untuk reaksi rekombinasi dan karena sebagai adsorben yang baik dapat menyerap cahaya dengan baik (Wu et al., 2008).

### 2.3.4 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  memiliki beberapa struktur kristal dalam beberapa fasa peralihan, yaitu  $\gamma$ -,  $\epsilon$ -, dan  $\alpha$ -. Perubahan fasa pada Gambar 2.4 adalah perubahan fasa berdasarkan suhu *sintering*. Prekursor yang digunakan adalah  $\text{Fe}_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$ , berubah menjadi  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada suhu 250°C-900°C. Fasa  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berubah menjadi  $\epsilon$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada suhu 900°C-1020°C. Pada fasa  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mulai terbentuk pada suhu 1295°C (Ohkoshi et al., 2015).



Gambar 2.4 Perubahan fasa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berdasarkan variasi suhu *sintering* (Ohkoshi et al., 2015).

$\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang dikenal dengan *hematite* dengan struktur kristal rhombohedral (Zhu et al., 2016).  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  juga terbentuk pada suhu kalsinasi 650°C-750°C dengan prekursor  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Jafari et al., 2015).  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dapat diaplikasikan sebagai katalis, sensor gas, solar sel, pigmen, litium-ion baterai, dan lain-lain. Sifat yang dimiliki oleh  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yaitu tahan terhadap reaksi kimia dan suhu, ramah lingkungan, bahan yang menarik dalam aplikasi semikonduktor serta memiliki kemampuan penyerapan cahaya (Lassoued et al., 2017), sehingga dapat

memanfaatkan sinar matahari sebesar ~40% dalam aplikasi solar sel (Niu et al., 2013). Selain itu, indeks bias dari  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah 3,15 dan nilai dielektrik sebesar 10,9 (Rashid et al., 2016).

$\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki celah pita optik sebesar 1,9 eV-2,2 eV (Kraushofer et al., 2018). Kandungan hasil dari ekstraksi lumpur Sidoarjo terdapat 30% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Mustopa et al., 2013). Pada aplikasi DSSC dapat meningkatkan 40% dan sebagai transport elektron yang cepat (Bayram et al., 2015).

## 2.4 Sifat Optik Material Non-logam sebagai Dielektrik

SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan senyawa oksida, sehingga senyawa tersebut termasuk dalam material non-logam. Senyawa oksida juga termasuk dalam material dielektrik. Indeks bias ( $n$ ) suatu bahan adalah rasio kecepatan dalam ruang hampa ( $c$ ) terhadap kecepatan dalam medium ( $v$ ). pada persamaan 2.1 merupakan rumusan dari definisi indeks bias.

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

Besar nilai indeks bias bergantung pada panjang gelombang cahaya. Jalur optik cahaya tidak hanya dipengaruhi oleh indeks fraksi pemantulan pada permukaan juga berpengaruh. Kecepatan ruang hampa setara memberikan kecepatan cahaya dalam medium. Dimana  $\epsilon_0$  adalah permitivitas listrik dari vakum dan  $\mu_0$  permeabel magnetik dari vakum. Pada persamaan (2.2) adalah persamaan dari kecepatan cahaya dalam medium. Kecepatan cahaya dalam medium dapat dilihat pada persamaan (2.3)

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (2.2)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad (2.3)$$

Dari persamaan (2.1), (2.2) dan (2.3), maka indeks bias dapat dapat diperoleh seperti pada persamaan (2.4).

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (2.4)$$



Dimana  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik dan  $\mu_r$  adalah relatif permeabel magnetik. Jika memiliki sifat magnetik yang sangat kecil maka  $\mu_r \cong 1$ , maka indeks bias dapat dilihat pada persamaan (2.5).

$$n = \sqrt{\epsilon_r} \quad (2.5)$$

Konstanta dielektrik dibedakan menjadi dua yaitu, (1) pada persamaan (2.6) indeks bias bernilai real dan  $\epsilon_1$  bernilai positif dan (2) indeks bias bernilai imajiner maka  $\epsilon_2$  bernilai negatif terlihat pada persamaan (2.7) (Gupta et al., 2012).

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (2.6)$$

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (2.7)$$

$$\epsilon_2 = 2nk \quad (2.8)$$

Dimana,  $n$  = indeks bias

$\alpha$  = koefisien absorpsi ( $\text{nm}^{-1}$ )

$\lambda$  = panjang gelombang (nm)

$k$  = koefisien kepunahan

## 2.5 Sifat Optik Material Non-logam sebagai Penghambur

Photoanoda dengan menggunakan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dengan sifat transparan pada cahaya tampak, sehingga sebagian besar cahaya yang masuk ke DSSC ditransmisikan melalui lapisan  $\text{TiO}_2$  tanpa berinteraksi dengan sensitizer. Oleh karena itu, diperlukan lapisan penghambur yang memiliki struktur yang berbeda dengan  $\text{TiO}_2$ . Hal ini bertujuan agar cahaya akan terbambur balik ke lapisan aktif (Jiang et al., 2014).

Teori *Mie scattering* dapat digunakan untuk mengetahui adanya hamburan. Penerapan teori *Mie scattering* menggunakan ukuran partikel rentang 1  $\mu\text{m}$  sebagai penghambur (Weiner et al., 2001). Hamburan Mie dapat terjadi ketika ukuran partikel sebanding dengan panjang gelombang cahaya yang masuk sesuai dengan persamaan (2.9). Ukuran partikel yang besar dapat meningkatkan penghamburan ke koefisien *extinction*, ukuran partikel 120 nm bergeser ke arah merah (Hodak et al., 2000). Teori *Mie scattering* juga mengindikasikan bahwa semakin besar perbedaan indeks bias antara partikel penghambur dan media sekeliling akan memperbesar hamburan cahaya (Son et al., 2012). Indeks bias yang besar akan

mempengaruhi nilai konstanta dielektrik dapat dilihat pada persamaan (2.5), sehingga nilai indeks bias akan mempengaruhi penghamburan yang dapat dilihat pada persamaan (2.10) (Hodak et al., 2000).

$$\alpha = \frac{2\pi a}{\lambda} \quad (2.9)$$

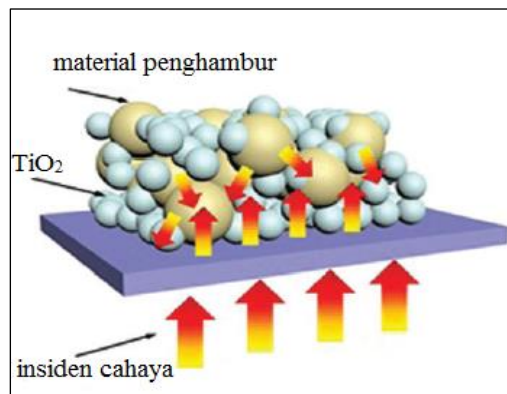
$$\sigma(\omega, T) \propto \epsilon_m^{\frac{3}{2}} \frac{\omega \epsilon_2(\omega)}{[\epsilon_1(\omega) + 2\epsilon_m]^2 + \epsilon_2(\omega)^2} \quad (2.10)$$

Dimana  $\alpha$  adalah parameter ukuran.  $a$  adalah jari-jari lingkaran partikel.  $\lambda$  merupakan panjang gelombang relatif penghambur.  $\epsilon_m$  adalah konstanta dielektrik dari medium,  $\epsilon_1$  dan  $\epsilon_2$  adalah komponen dielektrik yaitu real dan imajiner yang bergantung pada suhu,  $\omega$  adalah fungsi terhadap frekuensi.

Penghambur cahaya yang efektif, yaitu dengan memadukan partikel kecil (20 nm) yang memiliki permukaan efektif yang luas, dengan partikel yang lebih besar (250-300 nm). Sehingga memiliki potensi untuk meningkatkan absorpsi cahaya ( $\lambda$ ) secara signifikan sesuai dengan persamaan (2.11) (Ferber et al., 1998). Selain itu, peningkatan hamburan cahaya pada photoanoda dapat memperpanjang jalan cahaya, sehingga menghasilkan kerapatan arus dan efisiensi yang lebih baik ((Falahatdoost, Ara, Shaban, & Ghazyani, 2015)). Adanya peningkatan kerapatan arus menyebabkan efisiensi konversi daya DSSC juga meningkat 50% akibat adanya partikel penghambur (Wang et al., 2013). Gambar 2.5 memperlihatkan skema hamburan cahaya.

$$Ge(x) = \int_{300}^{800} \alpha(\lambda) \phi(\lambda) e^{-\alpha(\lambda)x} d\lambda \quad (2.11)$$

Dimana  $Ge$  adalah generaasi untuk elektron.  $\alpha(\lambda)$  adalah absorpsi dari *dye* dan  $\phi(\lambda)$  adalah penyerapan cahaya dari spektrum global matahari 1,5 AM.

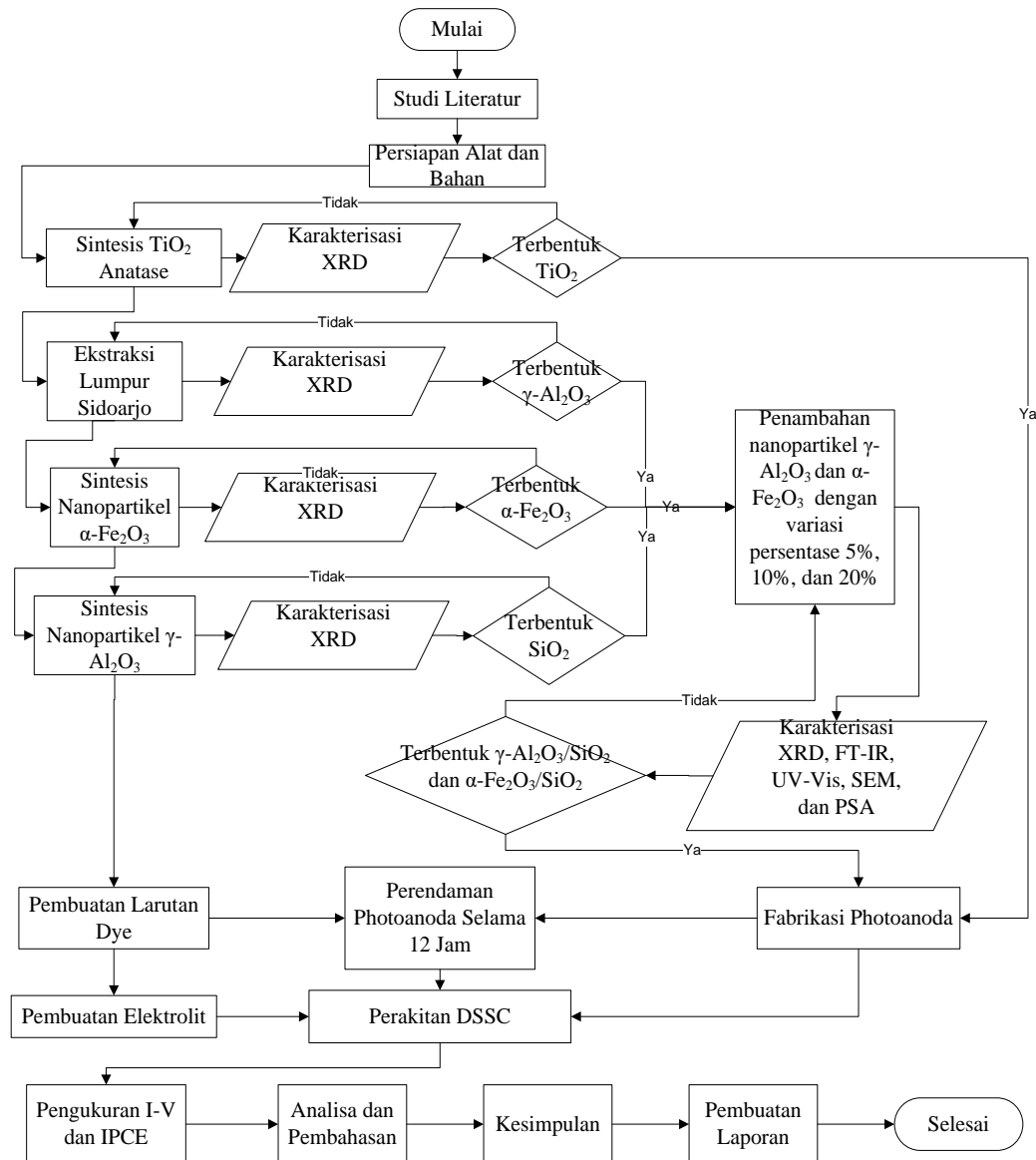


Gambar 2.5 skema hamburan cahaya (Fan et al., 2017)

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap agar memperoleh hasil yang diinginkan. Tahap-tahap penelitian dapat diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

### 3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas beker, gelas ukur, pipet tetes, mortar, *magnetic stirrer*, oven, *furnace*, pH meter, timbangan digital, *hot plate*, spatula, krusibel, pinset, dan substrat FTO. Bahan yang digunakan untuk sintesis  $\text{TiO}_2$  adalah  $\text{TiCl}_3$ , HCl 37%, dan  $\text{NH}_4\text{OH}$  25%. Bahan yang digunakan untuk ekstraksi  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo yaitu HCl, NaOH, dan aquades sebagai  $\text{SiO}_2$  pembanding menggunakan  $\text{SiO}_2$  GS. Pembuatan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  menggunakan prekursor  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  25%, dan etanol dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan menggunakan prekursor  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NH}_4\text{OH}$  25%.

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat pasta photoanoda adalah asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), trixton-X 100, dan aquades. *Dye* yang digunakan dalam penelitian ini N719 dan alkohol. Larutan elektrolit dibuat menggunakan bahan kalium iodida (KI), acetonitrile, polietilena glikol (PEG) 4000 dan chloroform.

### 3.2 Sintesis Photoanoda

Sintesis photoanoda dengan mensintesis  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dengan menambahkan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dengan variasi persentase 5%, 10%, dan 20%.

#### 3.2.1 Sintesis $\text{TiO}_2$

Sintesis  $\text{TiO}_2$  dengan mengadopsi dari penelitian yang dilakukan oleh (Castro et al., 2008). Tahap pertama sintesis  $\text{TiO}_2$  yang dilakukan dengan cara melarutkan 10 ml  $\text{TiCl}_3$  dengan 4,7 ml aquades kemudian ditambahkan 0,3 ml HCl diaduk selama 3 menit dengan suhu  $45^\circ\text{C}$ . Pada tahap kedua ditambahkan 35 ml HCl 37% ke dalam larutan  $\text{TiCl}_3$  hingga larutan tersebut berubah warna menjadi warna ungu, kemudian ditambahkan larutan 50 ml  $\text{NH}_4\text{OH}$  25% hingga warna berubah menjadi suspensi dengan warna ungu kehitaman dan endapan berwarna putih.

Sintesis  $\text{TiO}_2$  dilakukan untuk memperoleh  $\text{TiO}_2$  fasa anatase. Endapan putih yang diperoleh dicuci menggunakan aquades agar bau larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  hilang. Endapan dikalsinasi dengan suhu  $400^\circ\text{C}$  selama 2 jam.

### 3.2.2 Ekstraksi SiO<sub>2</sub> dari Lumpur Sidoarjo

SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo digunakan sebagai bahan dielektrik dan penghambur cahaya. Lumpur Sidoarjo diekstraksi dengan menggunakan cara (Adziimaa et al., 2013) karena pada penelitian tersebut dapat mengekstraksi SiO<sub>2</sub> diperoleh dengan kemurnian 98,81%. Ekstraksi lumpur Sidoarjo dilakukan dengan menimbang 10 gram lumpur ditambahkan larutan 2M HCl dan direndam selama 4 jam. Setelah itu lumpur dicuci, kemudian ditambahkan larutan 7M NaOH sebanyak 60 ml dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada suhu 80°C dengan kecepatan 2 mod. Selanjutnya dititrasi dengan menggunakan 3M HCl dengan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 40°C dengan kecepatan putar 2 mod hingga mendekati pH 7. Kemudian dikeringkan pada temperatur 80°C selama 24 jam.

### 3.2.3 Sintesis Nanopartikel $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Sintesis nanopartikel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menggunakan precusor Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O. Larutan aluminum nitrat 0,26 M dibuat dengan melarutkan 9,75 gram Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O dalam 200 ml diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga larut dan homogen. Setelah larut dititrasi dengan menambahkan NH<sub>4</sub>OH hingga pH mencapai 7,5 dan memperoleh endapan putih. Kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 70°C selama 2 jam. Endapan yang dihasilkan kemudian dibilas dengan aquades hingga bau amonia pada endapan menghilang.

Endapan nanopartikel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ditambahkan ethanol 150 ml diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Setelah itu endapan nanopartikel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dikeringkan menggunakan *oven* dengan suhu 70°C selama 18 jam. Kemudian dikalsinasi dengan suhu 550°C selama 4 jam. Sintesis nanopartikel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> telah dilakukan oleh (Rahmanpour et al., 2012).

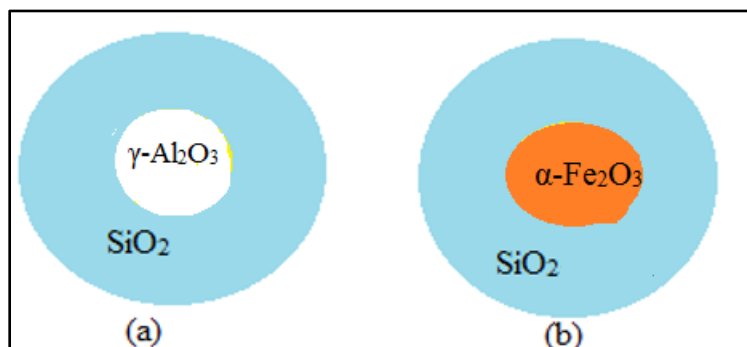
### 3.2.4 Sintesis Nanopartikel $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Nanopartikel  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disintesis dengan menggunakan prekursor FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O. Pertama membuat larutan FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O dengan konsentrasi 0,05 M yang dilarutkan dalam 500 ml aquades dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan suhu 80°C. Kemudian tambahkan 50 ml NH<sub>4</sub>OH ke dalam larutan

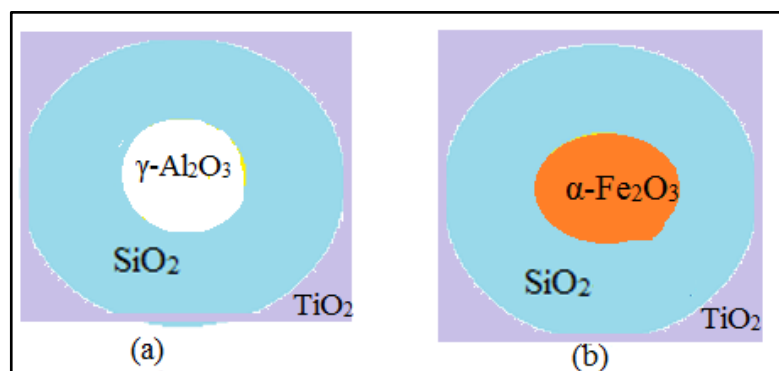
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan dititrasi dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$  hingga pH larutan mencapai 11. Setelah itu, larutan yang telah terbentuk endapan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam dengan suhu  $80^\circ\text{C}$ . Endapan tersebut dibilas dengan aquades hingga bau dari  $\text{NH}_4\text{OH}$  telah hilang. Endapan disaring dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu  $80^\circ\text{C}$ . Setelah kering endapan dikalsinasi dengan suhu  $700^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Sintesis nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ini telah dilakukan oleh (Lassoued et al., 2017a).

### 3.2.5 Pencampuran $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ dan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$

Pada penelitian ini setelah semua sintesis dilakukan langkah selanjutnya adalah penambahan nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ke dalam  $\text{SiO}_2$ . Penambahan ini didasarkan pada perbandingan yaitu 10:90 seperti yang dilakukan oleh (Reda, 2013). Berdasarkan fraksi yang digunakan oleh Reda (2013) maka dilakukan variasi penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  kedalam  $\text{SiO}_2$  yaitu 5%, 10%, dan 20% (Reda, 2013). Pencampuran  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dapat diilustrasikan pada Gambar 3.2. Setelah, Pencampuran  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  kemudian dicampurkan kedalam photoanoda ( $\text{TiO}_2$  anatase). Pencampuran tersebut menggunakan perbandingan 0,5%:99,5% ( $(\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  atau  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ):  $\text{TiO}_2$ ). Perbandingan tersebut merupakan hasil optimum dari penelitian Puspitasari (2016) dengan perbandingan rasio  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  anatase (Puspitasari, 2016). Pada Gambar 3.3 mengilustrasikan pencampuran  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ .



Gambar 3.2 (a)  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan (b)  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$



Gambar 3.3 Photoanoda (a)  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  dan (b)  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$

### 3.3 Karakterisasi

Sintesis Photoanoda kemudian dikarakterisasi setiap langkahnya menggunakan *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis), difraksi sinar-X (XRD), *Fourier Transform InfraRed* (FTIR), *Physical Size Analyzer* (PSA), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan energi dispersi sinar-X (EDX). Karakterisasi ini dilakukan agar mengetahui Absorbansi, struktur kristal, ikatan ion, ukuran partikel, morfologi dan kandungan unsur dari serbuk Photoanoda.

Absorbansi pada serbuk dengan panjang gelombang cahaya tampak (350-700) nm dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis menggunakan spektroskopi *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) menggunakan Thermo Scientific tipe Genesys 10S UV-Vis (lampiran D). Ikatan molekul menggunakan FTIR Thermo Nicolet i510 (lampiran B). Struktur kristal dapat diperlihatkan dari hasil karakterisasi menggunakan XRD Philips X'pert MPD (30 mA, 40 kV) (lampiran A). *Physical Size Analyzer* (PSA) menggunakan Malvern Zetasizer digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel (lampiran C). Morfologi sampel dapat dilihat dengan menggunakan karakterisasi SEM dan EDX untuk mengetahui kandungan unsur dari sampel menggunakan Hitachi SU 3500 (lampiran E).

### 3.4 Pembuatan Larutan Dye dan Perendaman Photoanoda

Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah FTO karena memiliki stabilitas termal yang baik dan tahan dalam cuaca apapun (Kwak et al., 2011). FTO yang digunakan tipe soda-lime dengan resistansi  $8\ \Omega/\text{sq}$  dan tebal 3,2 mm. FTO yang digunakan berukuran  $2 \times 2\ \text{cm}^2$ .

Elektroda kerja dibuat dengan menggunakan metode *Doctor Blade*. Sampel dibuat pasta sebelum dilakukan pelapisan pada FTO. Pembuatan pasta dengan melarutkan 0,250 gram sampel dengan 87,5 $\mu$ L aquades, 125 $\mu$ L CH<sub>3</sub>COOH, dan 125 $\mu$ L Triton-X 100. Pasta yang telah jadi diteteskan di atas substrat FTO yang telah dicuci. Pasta kemudian diratakan menggunakan spatula kaca. Sampel dikeringkan dengan suhu 225°C selama 2 menit menggunakan *hot plate*.

Sampel yang telah ditumbuhkan di atas FTO kemudian direndam ke dalam larutan 0,3 mM *dye* N719 sebanyak 20 ml. Perendaman sampel dilakukan selama 12 jam, ketika perendaman sampel botol dengan kaca gelap untuk mencegah masuknya cahaya selama proses perendaman sampel. Setelah 12 jam sampel diangkat dan dibilas dengan alkohol 96% kemudian dikeringkan. *Dye* digunakan untuk meningkatkan kinerja hingga 40% dari pada sel tanpa *dye* (Umar et al., 2012).

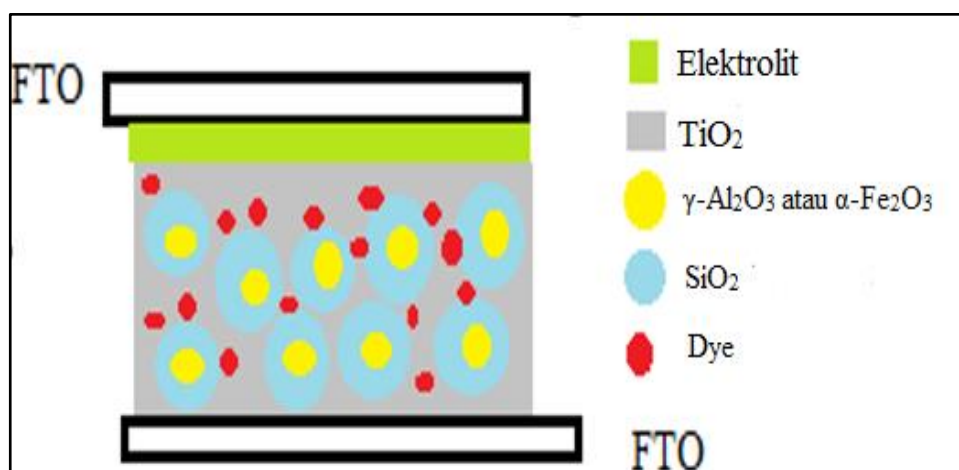
### 3.5 Pembuatan Elektrolit

Elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasangan iodide/triiodide. Elektrolit dibuat dari KI sebanyak 0,8 gram dilarutkan dalam 10 ml acetonitrile hingga larut seluruhnya. Kemudian 0,127 gram iodida ditambahkan ke dalam larutan elektrolit dengan terus diaduk hingga iodide larut seluruhnya. PEG 4000 sebanyak 7 gram dilarutkan dalam 25 ml chloroform hingga larut dan membentuk gel. Kemudian larutan elektrolit dicampur dengan gel tersebut dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada suhu 80°C.

### 3.6 Perakitan DSSC

Sampel yang telah disiapkan kemudian dirakit yang diilustrasikan pada Gambar 3.4. Susunan tersebut terdiri dari elektroda kerja yaitu FTO yang ditumbuhkan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> dan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> dengan variasi persentase  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Elektroda kerja tersebut telah direndam dalam larutan *dye* selama 12 jam. Elektroda lawan yang digunakan adalah FTO yang telah dilapisi oleh platinum (Pt). Sebelum dilakukan pengujian sampel disuntikkan elektrolit ke dalamnya. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.





Gambar 3.4 Perakitan DSSC

Tabel 3.1 Sampel berdasarkan variasi photoanoda pada DSSC

No	Photoanoda	Modifikasi	Persentase yang digunakan
1.		SiO <sub>2</sub> lumpur Sidoarjo	
2.		SiO <sub>2</sub> GS	
3.			5% :95%
4.		γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpur Sidoarjo	10% :90%
5.	TiO <sub>2</sub> dari		20% :80%
6.	perkusor TiCl <sub>3</sub>	γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> GS	Terbaik
7.			5% :95%
8.		α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpur Sidoarjo	10% :90%
9.			20% :80%
10.		α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> GS	Terbaik

### 3.7 Pengujian DSSC

DSSC yang telah dirakit dengan komponen-komponen DSSC berbentuk *sandwich*, yang terdiri dari elektroda kerja (FTO yang telah ditumbuhi γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>, dan α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> dengan luasan aktif (0,5×0,5) cm<sup>2</sup>, elektrolit (iodida/triiodida) dan elektroda lawan (FTO yang dilapisi platinum). DSSC kemudian diuji menggunakan simulator solar. Pengujian ini dilakukan

dengan pengukuran arus dan tegangan serta efisiensi konversi cahaya pada DSSC. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Gambar 3.5 (b) memperlihatkan tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), arus *short circuit* ( $J_{sc}$ ), dan *maximum power point* (MPP) dan rangkaian ekivalen sel surya, serta arus dan tegangan pada MPP :  $J_m$ ,  $V_m$ . Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP) dapat dilihat pada Gambar 3.5 (b).

Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan:

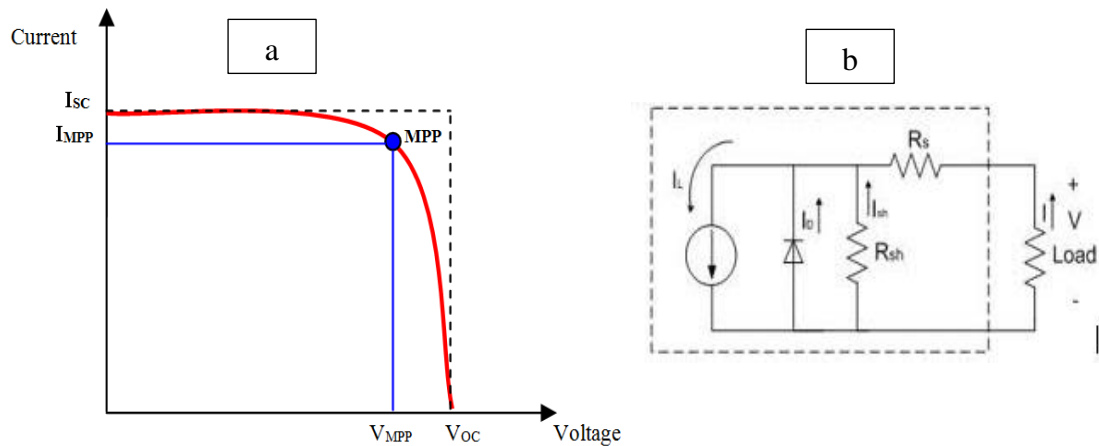
$$FF = \frac{V_m \cdot J_m}{V_{oc} \cdot J_{sc}} \quad (3.1)$$

Daya maksimum dari sel surya diperoleh dengan menggunakan *fill factor* didapat dari persamaan:

$$P_{MPP} = V_{oc} \cdot J_{sc} \cdot FF \quad (3.2)$$

Efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel ( $P_{MPP}$ ) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang ( $P_{cahaya}$ ), Sehingga diperoleh persamaan:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_{cahaya}} \times 100\% \quad (3.3)$$



Gambar 3.5 (a) Kurva I-V sel surya yang menunjukkan *maximum power point* (MPP) dan (b) rangkaian ekivalen sel surya (Chotimah et al, 2012)

Nilai efisiensi menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi sel surya. Efisiensi dari sel surya tergantung pada temperatur sel dan yang lebih penting lagi adalah kualitas iluminasi.

Pengukuran konversi efisiensi cahaya dengan *Incident Photon to Current Conversion Efficiency* (IPCE) untuk menentukan efisiensi konversi cahaya pada DSSC. Untuk menghitung nilai IPCE digunakan persamaan (3.4) berikut:

$$IPCE [\%] = \frac{1240 [eV.nm] \times J_{sc} [\mu A.cm^{-2}]}{\lambda [nm] \times P_{cahaya} [\mu W.cm^{-2}]} \quad (3.4)$$

dimana  $1240 (eV.nm)$  adalah faktor konversi cahaya ke arus,  $J_{sc}$  adalah kerapatan arus ( $\mu A.cm^{-2}$ ),  $\lambda$  adalah panjang gelombang yang diubah-ubah pada monokromator (nm), dan  $P_{cahaya}$  adalah daya yang diukur pada setiap panjang gelombang ( $\mu W.cm^{-2}$ ).

*Halaman ini sengaja di kosongkan*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

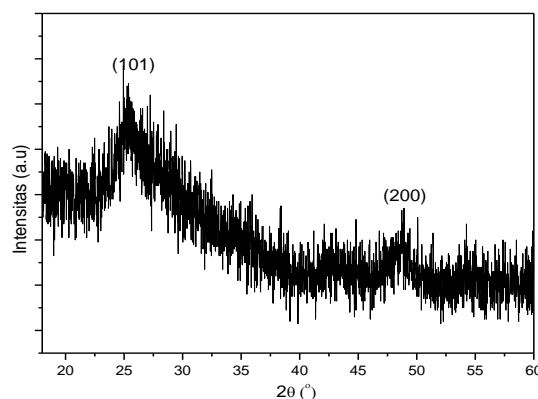
#### 4.1 Hasil Penelitian

Pada subbab 4.1 ini akan membahas hasil yang telah diperoleh. Hasil ini diperoleh dari hasil karakterisasi XRD, UV-Vis, FT-IR, PSA, SEM, pengujian I-V, dan IPCE dari setiap sampel. Pada subbab 4.2 ini akan membahas pengaruh  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada DSSC.

##### 4.1.1 Karakterisasi Nanopartikel Anatase $\text{TiO}_2$ sebagai Photoanoda

Spektrum XRD dari nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dapat terlihat pada Gambar 4.1 dengan JCPDS (*Joint Commitee on Powder Diffraction Strandards*) No. 00-021-1272. Gambar tersebut memperlihatkan puncak anatase  $\text{TiO}_2$  pada sudut  $2\theta$ :  $25,28^\circ$  dan  $48,82^\circ$ . Puncak tersebut menandakan bahwa telah terbentuknya anatase  $\text{TiO}_2$  dari perkusor  $\text{TiCl}_3$  yang akan digunakan sebagai photoanoda. Sifat kristalin dapat dikatakan yang baik apabila intensitasnya paling tinggi, FWHM (*Full Width at Half Maximum*) paling kecil, dan ukuran kristal paling besar.

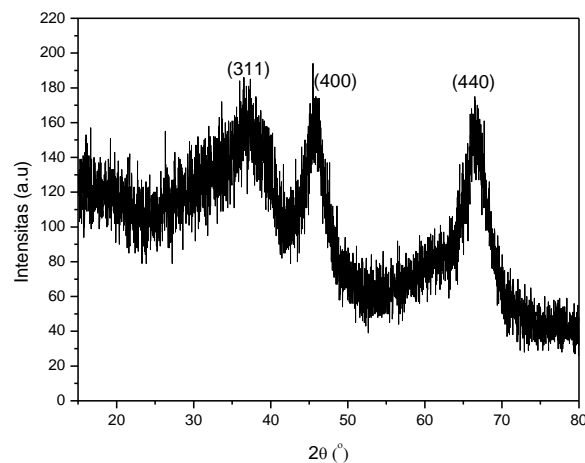
Puncak yang terbentuk dari anatase  $\text{TiO}_2$  terdapat pada orientasi bidang (101) dan (200). Puncak paling tinggi terdapat pada orientasi bidang (101) dengan FWHM  $0,09^\circ$  dan jarak antar kristal  $3,5194 \text{ \AA}$ . Struktur kristal yang terbentuk adalah tetragonal. Ukuran kristal yang diperoleh dari persamaan (A-8) sebesar  $90,43 \text{ nm}$ .



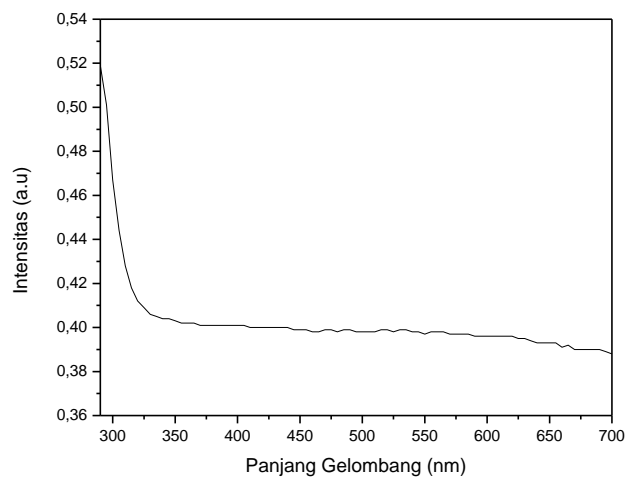
Gambar 4.1 XRD anatase  $\text{TiO}_2$

#### 4.1.2 Karakterisasi Nanopartikel $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Pola XRD nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  ditunjukkan pada Gambar 4.2 nanopartikel tersebut telah dipersiapkan dengan menggunakan prekursor aluminum nonahidrate. Gambar 4.2 menunjukkan tiga puncak yang berada pada sudut  $2\theta$ :  $31,46^\circ$ ;  $45,37^\circ$ ; dan  $66,6^\circ$ . Puncak tersebut terdapat pada orientasi bidang (311), (400) dan (440) dengan struktur kristal kubik. Puncak yang muncul sesuai dengan JCPDS No. 10.0425. Berdasarkan persamaan (4.1) dari data XRD diperoleh nilai FWHM dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  adalah  $0,09^\circ$ , sehingga dari nilai tersebut diperoleh ukuran kristal sebesar 93,01 nm berdasarkan persamaan (A-8).

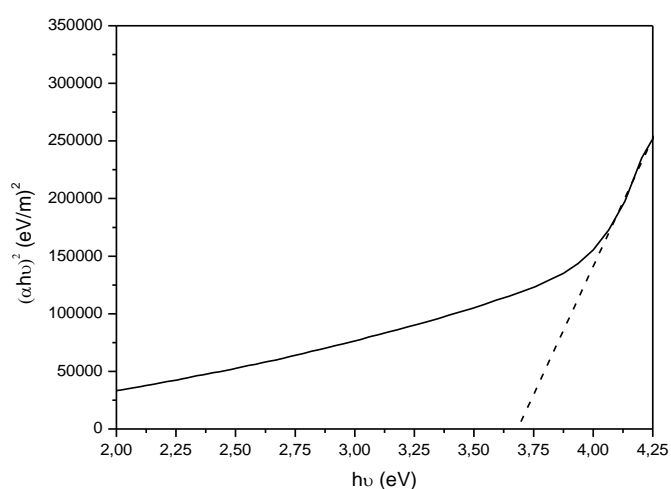


Gambar 4.2 XRD dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

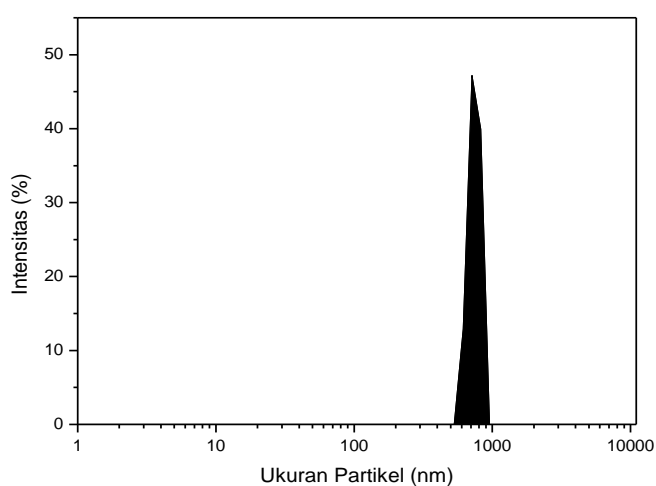


Gambar 4.3 Absorbansi dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dikarakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Gambar 4.3 menunjukkan kurva absorbansi dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa absorbansi tinggi terjadi pada panjang gelombang 325-290 nm. Absorbansi lemah terjadi pada panjang gelombang 325-700 nm. Lebar energi celah pita optik dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  diperoleh sebesar 3,70 eV. Energi celah pita diperoleh menggunakan metode *tauc plot* pada lampiran D. Energi celah pita optik nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Energi gap dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$



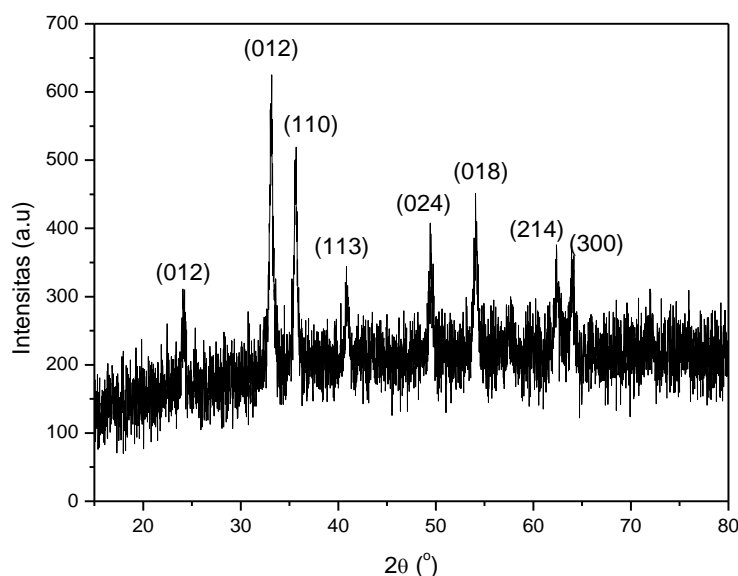
Gambar 4.5 Distribusi ukuran nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Distribusi ukuran partikel dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  ditunjukkan pada Gambar 4.5. Distribusi partikel dari nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  yang terlihat dari gambar homogen. Rata-rata ukuran partikel tersebut yang diperoleh adalah 2.569 nm. Gambar 4.5 menunjukkan tinggi intensitas sebesar 47,2%.

#### 4.1.3 Karakterisasi Nanopartikel $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dengan precusor  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  telah terbentuk, hal ini telah ditunjukkan pada Gambar 4.6 yang merupakan pola XRD dari  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Gambar 4.6 memperlihatkan puncak nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada sudut  $2\theta$ :  $24,08^\circ$ ;  $33,15^\circ$ ;  $35,58^\circ$ ;  $40,86^\circ$ ;  $49,43^\circ$ ;  $54,12^\circ$ ;  $57,51^\circ$ ;  $62,44^\circ$ ; dan  $64,00^\circ$ . Masing-masing puncak terdapat pada orientasi bidang (012), (104), (110), (113), (024), (116), (018), (214), dan (300) dengan struktur kristal trigonal. Puncak paling tinggi terdapat pada sudut  $2\theta$ :  $33,15^\circ$  dengan orientasi bidang (104). Puncak yang terbentuk telah diperkuat dengan JCPDS No. 87-1165.

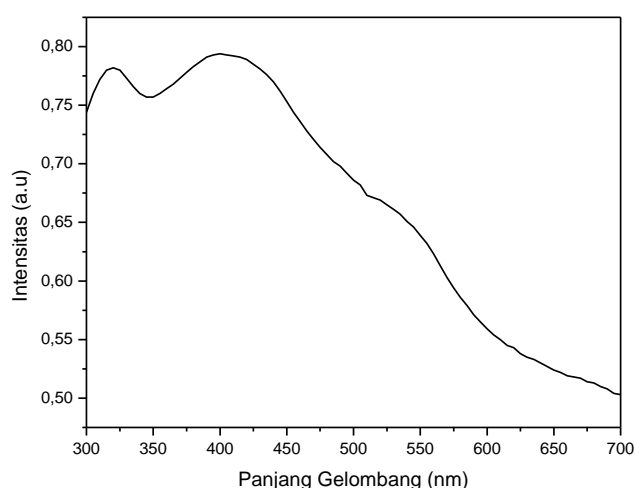
Informasi mengenai FWHM juga diperoleh dari data XRD. Nilai FWHM yang diperoleh dari nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dengan puncak paling tinggi adalah  $0,2007^\circ$ . Ukuran kristal nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dapat diperoleh menggunakan persamaan (A-8) yaitu sebesar 41,30 nm.



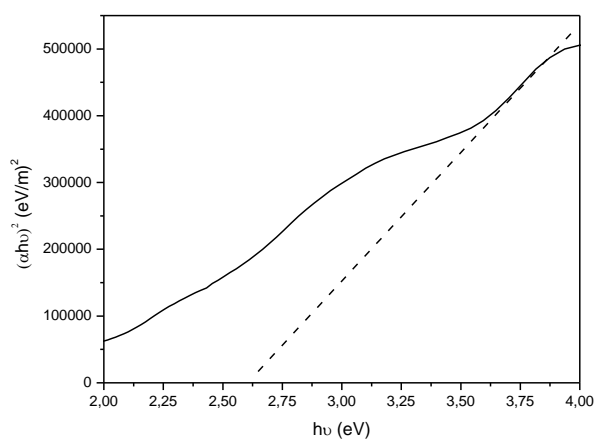
Gambar 4.6 XRD dari nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$



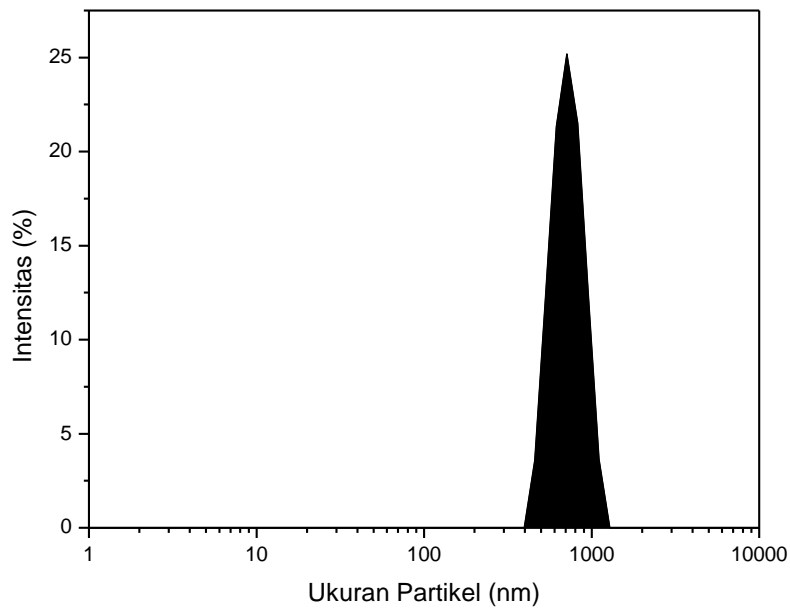
Gambar 4.7 menunjukkan kurva absorbansi dari nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Gambar tersebut memperlihatkan bahwa absorbansi tinggi terjadi pada panjang gelombang 590 nm. Hasil ini didukung dengan hasil penelitian Han et al (2013) adanya puncak  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada panjang gelombang 590 nm (Han et al., 2013). Hasil UV-Vis dapat menentukan lebar celah pita, pada nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  lebar celah pita optik diperoleh sebesar 2,68 eV. Energi celah pita yang diperoleh mendekati hasil penelitian Mallick dan Dash (2013) dengan memvariasikan suhu *annealing* memperoleh energi celah pita yang hampir sama  $\sim 2,67$  eV (Mallick & Dash, 2013). Energi celah pita optik nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.7 UV-Vis dari nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$



Gambar 4.8 Energi celah pita nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

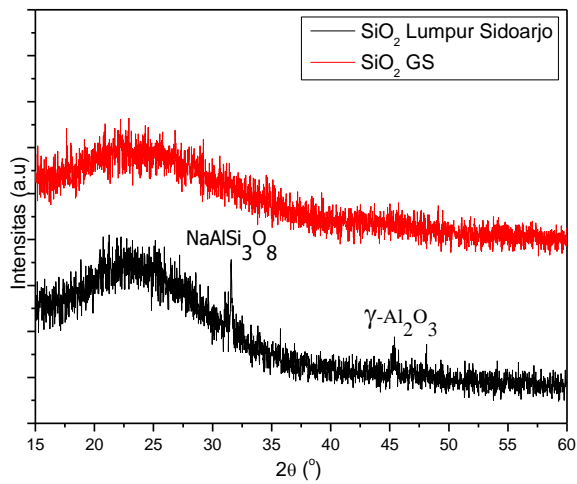


Gambar 4.9 Distribusi ukuran nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Distribusi ukuran partikel dari nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ditunjukkan pada Gambar 4.9. Distribusi partikel dari nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  yang terlihat dari gambar merata dan homogen. Rata-rata ukuran partikel tersebut yang diperoleh adalah 1.047 nm dan intensitas mencapai 25,4%.

#### 4.1.4 Karakterisasi $\text{SiO}_2$ Ekstraksi Lumpur Sidoarjo dan GS

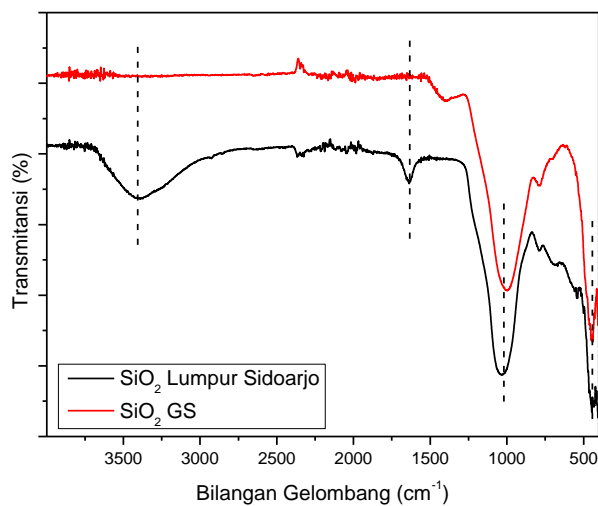
Pola XRD  $\text{SiO}_2$  pada Gambar 4.10 dengan ICDD (*International Centre for Diffraction Data*) No. 00-005-0490. Puncak  $\text{SiO}_2$  amorf terbentuk pada sudut  $2\theta = 22,74^\circ$  dari ekstraksi lumpur Sidoarjo dan  $22,17^\circ$  dari GS. Hasil ekstraksi lumpur Sidoarjo terdapat puncak lain selain  $\text{SiO}_2$  yaitu  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  dan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  masing-masing terdapat pada sudut  $2\theta$ :  $31,56^\circ$  dan  $45,37^\circ$ . Ukuran kristal pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS adalah 79,17 nm dan 89,91 nm.  $\text{SiO}_2$  GS memiliki nilai FWHM yang lebih kecil dibandingkan dengan  $\text{SiO}_2$  ekstraksi yaitu 0,09 dan 0,1088. Nilai FWHM dan ukuran kristal dapat dilihat pada Tabel 4.1. Sifat kristalin yang baik yaitu material yang memiliki nilai FWHM yang kecil dan ukuran kristal yang besar, berdasarkan Gambar 4.10 dan Tabel 4.1  $\text{SiO}_2$  GS memiliki sifat kristalin yang baik.



Gambar 4.10 Pola XRD  $\text{SiO}_2$

Tabel 4.1 Nilai FWHM dan Ukuran kristal

Jenis $\text{SiO}_2$	FWHM ( $^\circ$ )	Ukuran Kristal (nm)
Ekstraksi lumpur sidoarjo	0,1088	79,17
GS	0,090	89,91



Gambar 4.11 FT-IR  $\text{SiO}_2$

Material  $\text{SiO}_2$  dianalisis dengan spektroskopi FT-IR terlihat pada Gambar 4.11 pada bilangan gelombang  $400\text{-}4.000\text{ cm}^{-1}$ . Pola FT-IR  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo terdapat perbedaan dengan  $\text{SiO}_2$  GS. Perbedaan tersebut terdapat pada

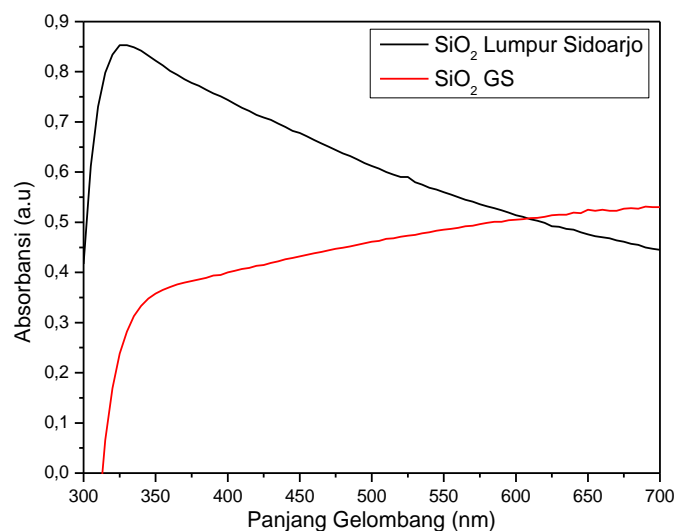
bilangan gelombang 3.392,14  $\text{cm}^{-1}$  merupakan ikatan vibrasi ulur –OH dari Si-OH yang berimpit dengan ikatan  $\text{H}_2\text{O}$  hanya dimiliki oleh  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo, hal ini dikarenakan adanya penyerapan air ketika ekstraksi lumpur Sidoarjo (Irawati et al., 2013), (Rangelova et al., 2011). Pada bilangan gelombang 1.636,85  $\text{cm}^{-1}$  merupakan gugus fungsi vibrasi ulur Si-O dari Si-OH yang merupakan penyerapan air, sedangkan pada  $\text{SiO}_2$  GS merupakan  $\text{SiO}_2$  komersil sehingga tidak muncul bilangan gelombang tersebut (Eddy et al., 2016), (Rangelova et al., 2011). Pada penelitian Abdulloh (2017) dan Rangelova (2011) Ikatan kuat  $\text{SiO}_2$  terdapat pada bilangan gelombang 987  $\text{cm}^{-1}$ , 1.007-1.158  $\text{cm}^{-1}$  yaitu ikatan simetri dan asimetris Si-O dari Si-O-Si pada hasil FT-IR untuk  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS terdapat pada bilangan gelombang 1.030,58  $\text{cm}^{-1}$  dan 999,83  $\text{cm}^{-1}$  (Abdulloh et al., 2017), (Rangelova et al., 2011). Pada bilangan gelombang 420-500  $\text{cm}^{-1}$  merupakan ikatan vibrasi tekuk Si-O dari Si-O-Si pada hasil penelitian terdapat pada panjang gelombang 446,06  $\text{cm}^{-1}$  pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan 440,82  $\text{cm}^{-1}$  pada  $\text{SiO}_2$  GS. Hasil FT-IR dari  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS dapat disimpulkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil analisis FT-IR pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS

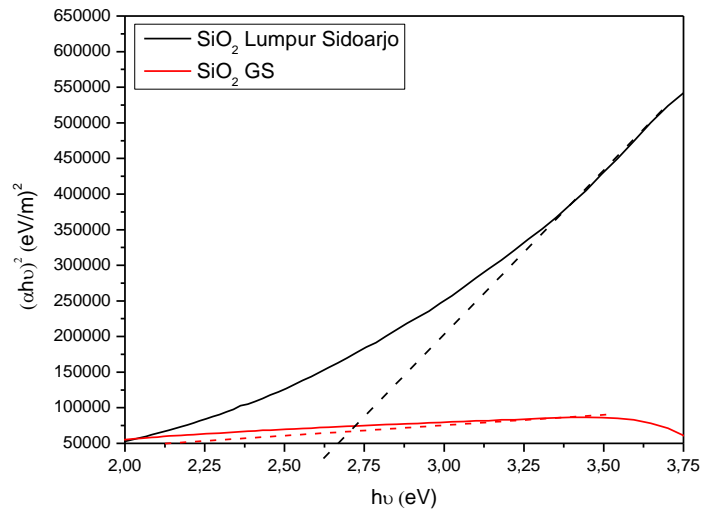
Indikasi bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	
	Lumpur Sidorajo	GS
1.250-4.000 Vibrasi Ulur –OH (Irawati et al., 2013)	3.392,14	
1.630 Vibrasi ulur Si-O dari Si-OH (Eddy et al., 2016)	1.636,85	
987, 1.007-1.158 Ikatan molekul air, vibrasi simetris dan asimetris T-O ( T adalah Si atau Al) (Abdulloh et al., 2017), (Irawati et al., 2013) (Rangelova et al., 2011)	1.030,58	999,32
420-500 Vibrasi tekuk Si-O-Si dan Vibrasi tekuk Al-O (Irawati et al., 2013)	446,06	440,82

Absorbansi dari  $\text{SiO}_2$  dapat dilihat pada Gambar 4.12 Pada panjang gelombang 300 nm -700 nm. Absorbansi paling tinggi terjadi pada panjang sekitar panjang gelombang 320 nm untuk  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur sidoarjo. Pada Gambar 4.12 terlihat perbedaan absorbansi pada  $\text{SiO}_2$  GS terlihat seperti tidak ada absorbansi, mulai panjang gelombang 700 nm - 320 nm terlihat absorbansi terus menurun. Hal tersebut dikarenakan bentuk fisik berdasarkan *data sheet* material tersebut berupa hollow, manik-manik kaca yang bulat dan tidak berpori. Gambar 4.12 memperlihatkan absorbansi yang baik terdapat pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo. Hal ini dikarenakan intensitas absorbansi yang paling tinggi terdapat pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur sidoarjo.

Absorbansi dari UV-Vis dapat digunakan untuk memperoleh energi celah pita optik. Persamaan pada lampiran D digunakan untuk mendapatkan energi celah pita. Energi celah pita  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS memperoleh energi celah pita masing-masing sebesar 2,68 eV dan 2,11 eV. Energi celah pita dari  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo lebih besar dibandingkan  $\text{SiO}_2$  GS. *Tauc plot* energi celah pita dari  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS dapat dilihat pada Gambar 4.13.

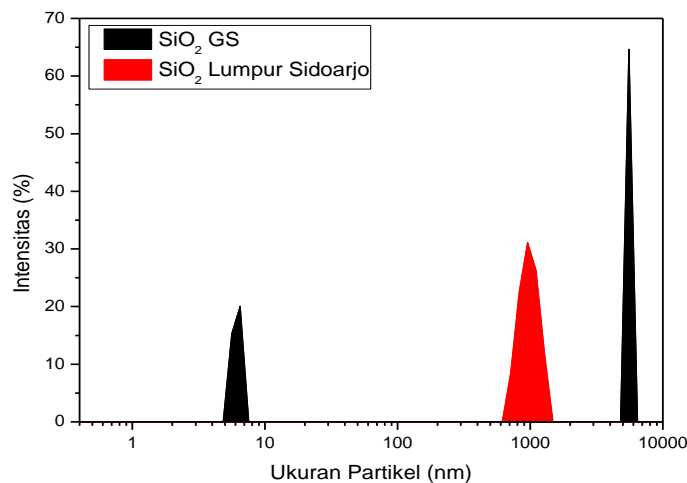


Gambar 4.12 UV-Vis  $\text{SiO}_2$



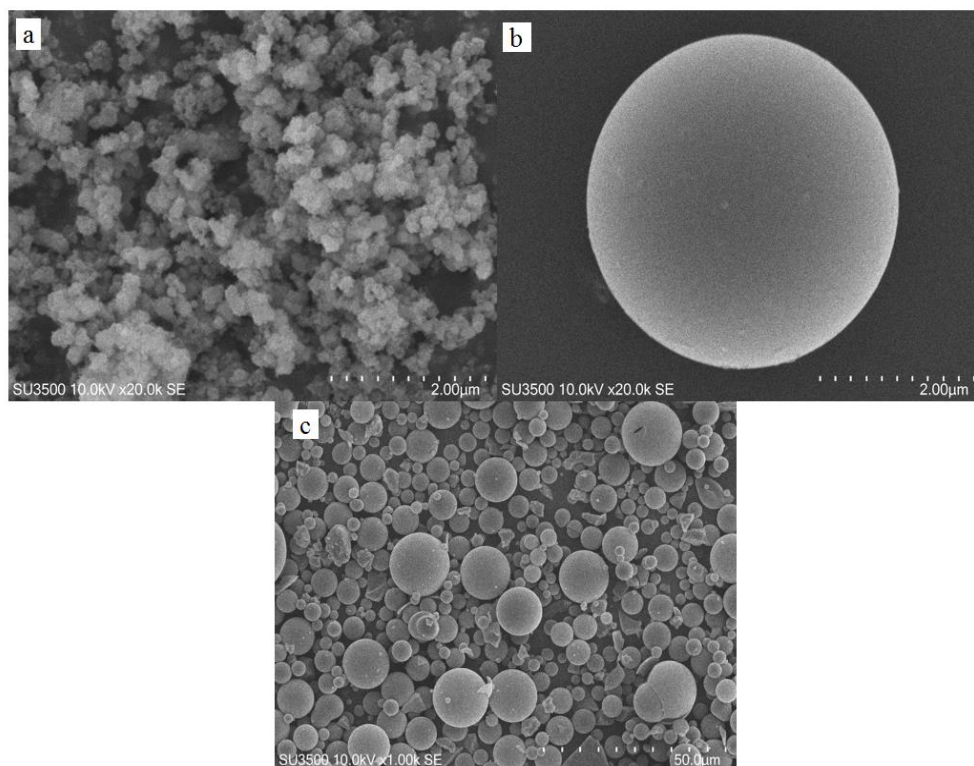
Gambar 4.13 Energi celah pita dari SiO<sub>2</sub>

Gambar 4.14 menunjukkan distribusi SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo dan SiO<sub>2</sub> GS. Distribusi partikel SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo lebih homogen dibandingkan dengan distribusi SiO<sub>2</sub> SG yang dapat dilihat pada Gambar 4.14, namun intensitas distribusi partikel SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo lebih rendah dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub> GS. Berdasarkan uji PSA ini SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo memiliki rata-rata partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub> GS yaitu 1.897,8 nm dan 6.512 nm. Rata-rata ukuran SiO<sub>2</sub> GS lebih besar dari panjang gelombang cahaya yang masuk, sehingga dapat menyebabkan penyerapan cahaya yang terjadi pada SiO<sub>2</sub> dipantulkan ( $d > \lambda$ ) (Jentoft, 2004).



Gambar 4.14 Distribusi ukuran partikel dari jenis SiO<sub>2</sub>

Gambar 4.15 menampilkan hasil pengujian SEM untuk SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan GS. Pada sampel SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo terlihat distribusi ukuran partikel yang merata dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub> GS. Pada sampel SiO<sub>2</sub> GS dengan perbesaran 50.000× terlihat distribusi ukuran partikel dari SiO<sub>2</sub> GS yang terbentuk tidak merata yang ditampilkan pada Gambar 4.15(c). Hal ini sesuai dengan hasil PSA ukuran partikel pada SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo yang lebih homogen dan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan SiO<sub>2</sub> GS. Selain itu, hasil gambar SiO<sub>2</sub> GS sesuai dengan *data sheet* yaitu berupa hollow, bulat dan tidak berpori.



Gambar 4.15 Hasil pengujian SEM dari SiO<sub>2</sub> pada perbesaran 20.000× (a) lumpur Sidoarjo (b) GS (c) GS dengan perbesaran 100.000×

Hasil EDX dari ekstraksi SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo mengandung Si, O, Na, Al, Cl, dan C. Kandungan unsur Na dan Al yang muncul merupakan hasil dari ekstraksi lumpur Sidoarjo yaitu NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sesuai dengan hasil XRD pada Gambar 4.10 yaitu ada puncak lain yang muncul selain puncak SiO<sub>2</sub>, sedangkan unsur Cl yang terdeteksi adalah sisa dari titrasi ketika melakukan

ekstraksi pada saat pencucian sampel yang kurang bersih. Hasil EDX dari SiO<sub>2</sub> GS mengandung unsur Si, O, dan C.

Hasil EDX juga menunjukkan adanya unsur C, dimana carbon tersebut berasal dari carbon tape yang digunakan pada holder. Hasil pengujian EDX menunjukkan bahwa unsur Si yang terdapat pada SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo memiliki komposisi yang lebih banyak dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub> GS. Pada SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo jumlah komposisi unsur O dan Na lebih sedikit dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub> GS. Komposisi dari hasil pengujian EDX dari SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan SiO<sub>2</sub> GS dapat dilihat pada Tabel 4.3.

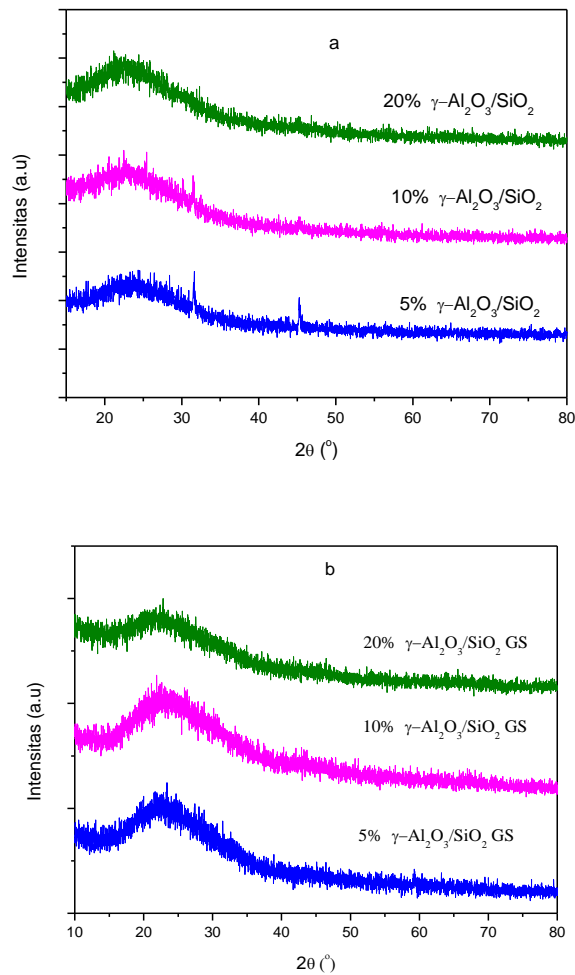
Tabel 4.3 Komposisi SiO<sub>2</sub>

Sampel	Unsur wt (%)						
	Si	O	Al	Na	Cl	C	Ca
SiO <sub>2</sub> lumpur Sidoarjo	12,04	45,65	2,36	4,3	0,79	34,86	-
SiO <sub>2</sub> GS	6,75	59,08	-	9,98	-	24,19	0

#### 4.1.5 Karakterisasi Variasi Nanopartikel $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>

Sampel yang telah disiapkan yaitu nanopartikel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan persentase 5%, 10%, dan 20% telah ditambahkan ke dalam SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo dan SiO<sub>2</sub> GS. pola XRD sampel dengan variasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.16. Puncak SiO<sub>2</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> masing-masing terdapat pada sudut 2 $\theta$ : 24,06°; 31,56° dan 45,37° ditunjukkan pada Gambr 4.16(a). Berdasarkan pola XRD memperlihatkan semakin menurunnya puncak yang terlihat pada sudut 2 $\theta$ : 31,56° dan 45,37° yang dimiliki oleh NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan bertambahnya persentase nanopartikel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Gambar 4.16 (b) memperlihatkan hanya puncak SiO<sub>2</sub> dari GS dan tidak munculnya puncak  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada gambar tersebut dengan bertambahnya persentase nanopartikel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.





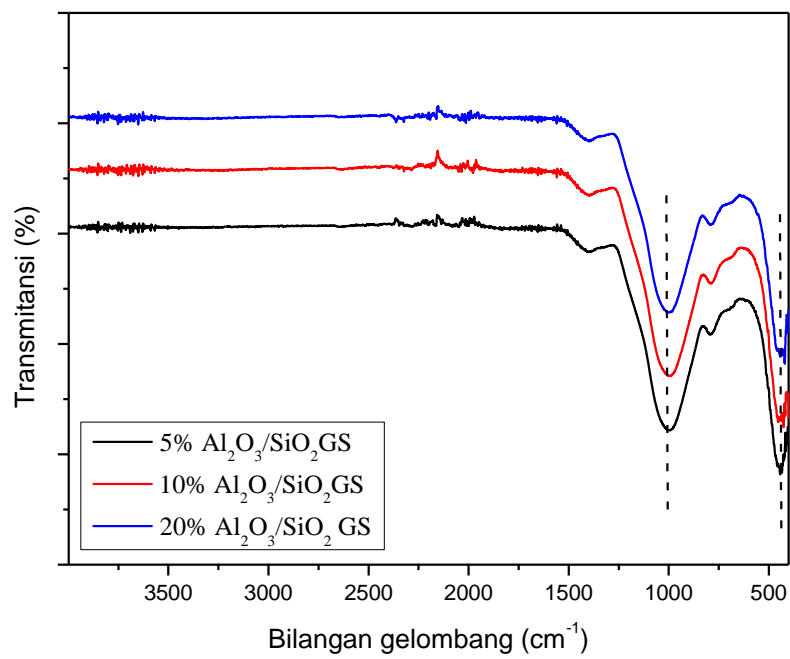
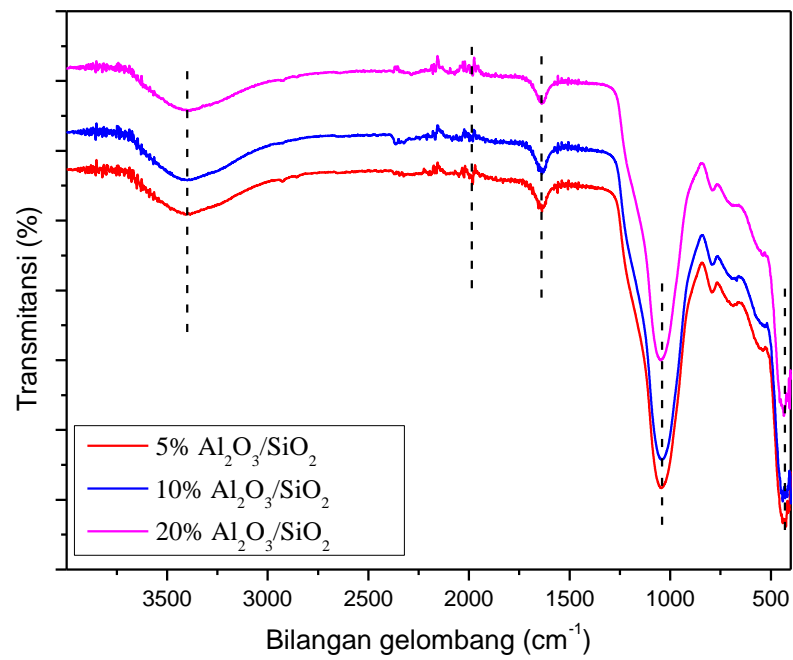
Gambar 4. 16 XRD dari variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.

Tabel 4.4 memperlihatkan nilai  $2\theta$ , FWHM, dan ukuran kristal dari variasi nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS. Tabel tersebut memperlihatkan dengan semakin besar penambahan nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  sudut  $2\theta$  pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS semakin bergeser ke kiri (sudut yang lebih kecil). Nilai FWHM pada variasi  $\text{SiO}_2$  GS cenderung konstan pada  $0,09^\circ$ , namun pada  $\text{SiO}_2$  lumpur lapindo bervariasi dan nilai paling kecil terdapat pada persentase 10%. Ukuran kristal pada  $\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS meningkat hingga persentase 10% dan menurun kembali pada 20%. Dari Tabel 4.3  $\text{SiO}_2$  lumpur dan GS memiliki sifat kristalin yang baik pada fraksi 10% dan 5%.

Tabel 4.4 Nilai  $2\theta$ , FWHM, ukuran kristal pada variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS.

	Fraksi	$\text{SiO}_2$ lumpur Sidoarjo	$\text{SiO}_2$ GS
	$2\theta$ ( $^\circ$ )	23,97	23,43
5%	FWHM ( $^\circ$ )	0,0887	0,09
	Ukuran Kristal (nm)	91,56	96,20
	$2\theta$ ( $^\circ$ )	23,49	23,01
10%	FWHM ( $^\circ$ )	0,0668	0,09
	Ukuran Kristal (nm)	117,94	95,90
	$2\theta$ ( $^\circ$ )	23,25	22,80
20%	FWHM ( $^\circ$ )	0,1003	0,09
	Ukuran Kristal (nm)	80,86	95,75

Gambar 4.17 memperlihatkan hasil FT-IR variasi lumpur Sidoarjo. Analisis sampel menggunakan bilangan gelombang 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil analisis tersebut menunjukkan adanya puncak yang hampir sama, namun terdapat sedikit pergeseran. Puncak ikatan vibrasi ulur  $\text{-OH}$  terdapat pada bilangan gelombang 3200-3600  $\text{cm}^{-1}$ . Ikatan  $\text{Si-O}$  dari  $\text{Si-OH}$  pada puncak bilangan gelombang 1630  $\text{cm}^{-1}$ . Pada puncak bilangan gelombang 1088  $\text{cm}^{-1}$  merupakan ikatan molekul air, vibrasi asimetris dan simetris  $\text{T-O}$  eksternal (T adalah Si atau Al). Bilangan gelombang 420-500  $\text{cm}^{-1}$  adalah vibrasi tekuk  $\text{Al-O}$ . Hasil analisis spektrum FT-IR dapat dilihat pada Tabel 4.5. Hasil dari FT-IR memberitahukan bahwa adanya ikatan  $\text{Al-O}$  yang menandakan adanya kehadiran  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  yang tidak muncul di pola XRD.



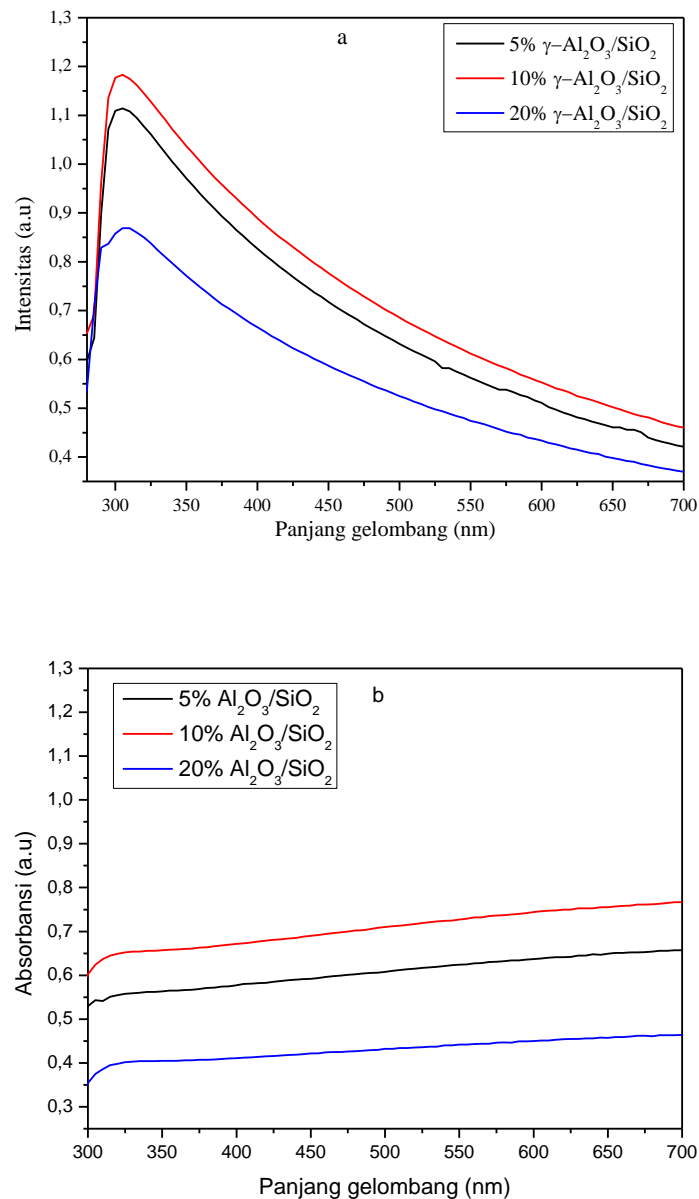
Gambar 4.17 FT-IR dari variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  lumpur sidoarjo dan GS

Tabel 4.5 Hasil analisis FT-IR pada variasi  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo

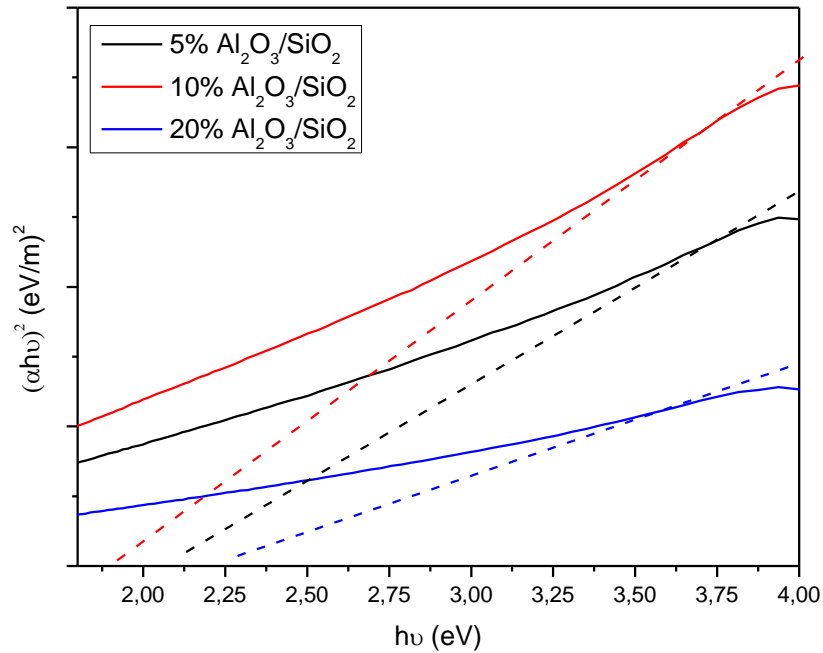
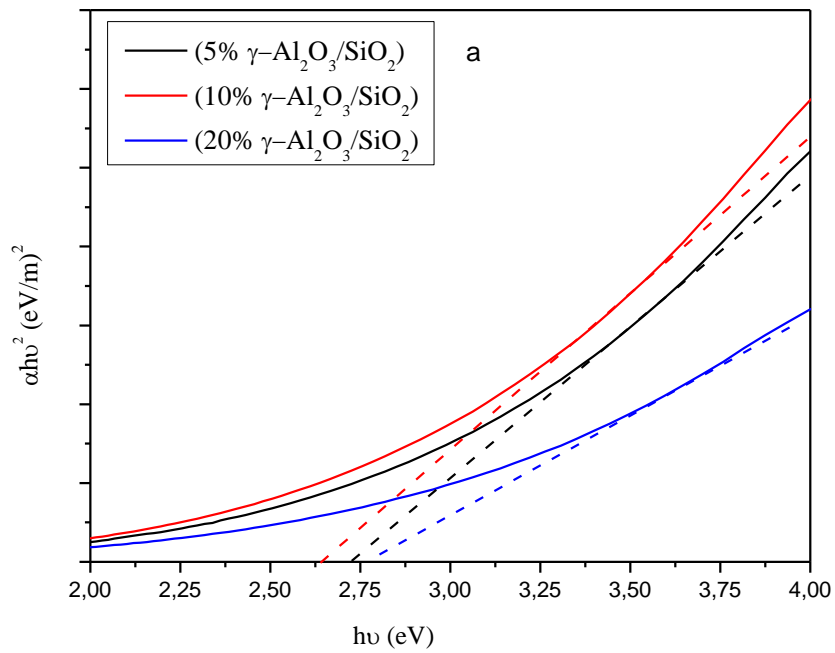
Indikasi bilangan gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Bilangan gelombang (cm <sup>-1</sup> )					
	Lumpur Sidoarjo			GS		
	5%	10%	20%	5%	10%	20%
1250-4000	3650,66	-	-	-	-	-
Vibrasi Ulur -OH (Irawati et al., 2013)	3385,46	3398,18	3386,25			
1630	1637,84	1637,47	1637,55	-	-	-
Vibrasi ulur Si-O dari Si-OH (Eddy et al., 2016)						
987, 1088	1043,01	1042,37	1049,75	992,88	992,87	999,49
Ikatan molekul air, vibrasi simetris dan asimetris T-O (T adalah Si atau Al) (Abdulloh et al., 2017), (Irawati et al., 2013)						
791,92	-	-	-	-	-	791,92
420-500	424,84	440,88	435,43	443,50	426,37	420,58
Vibrasi tekuk Si-O-Si dan Al-O (Irawati et al., 2013)						
300-420	-	-	406,42	414,30	418,42	406,61
Vibrasi pori terbuka (Irawati et al., 2013)						

Absorbansi dari variasi  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.18 pada panjang gelombang 300-700 nm. Gambar 4.18 (a) dan (b) memperlihatkan absorbansi paling tinggi terjadi pada panjang gelombang 320 nm. Absorbansi maksimum terdapat pada sampel 10%  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>. Pengaruh penambahan

nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  meningkatkan absorbansi hingga 10% dan kembali menurun pada penambahan 20%. Pada Gambar 4.18 (b) terlihat perbedaan absorbansi pada  $\text{SiO}_2$  GS seperti tidak ada absorbansi, namun sedikit ada puncak penyerapan pada 320 nm dibandingkan dengan  $\text{SiO}_2$  GS (Gambar 4.12).



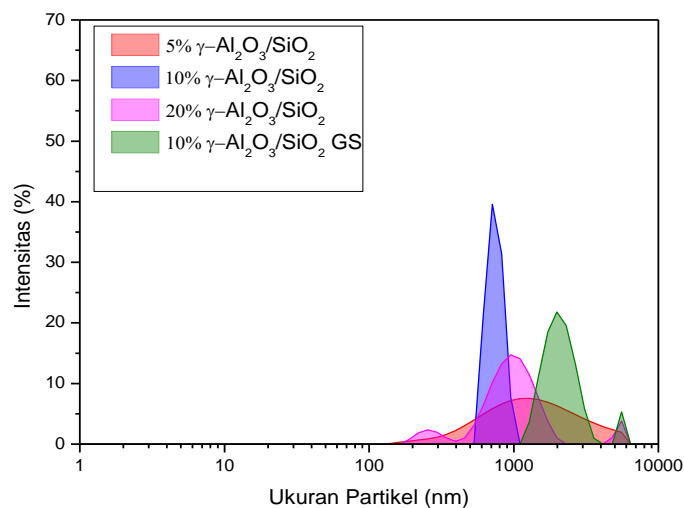
Gambar 4.18 Absorbansi dari variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.



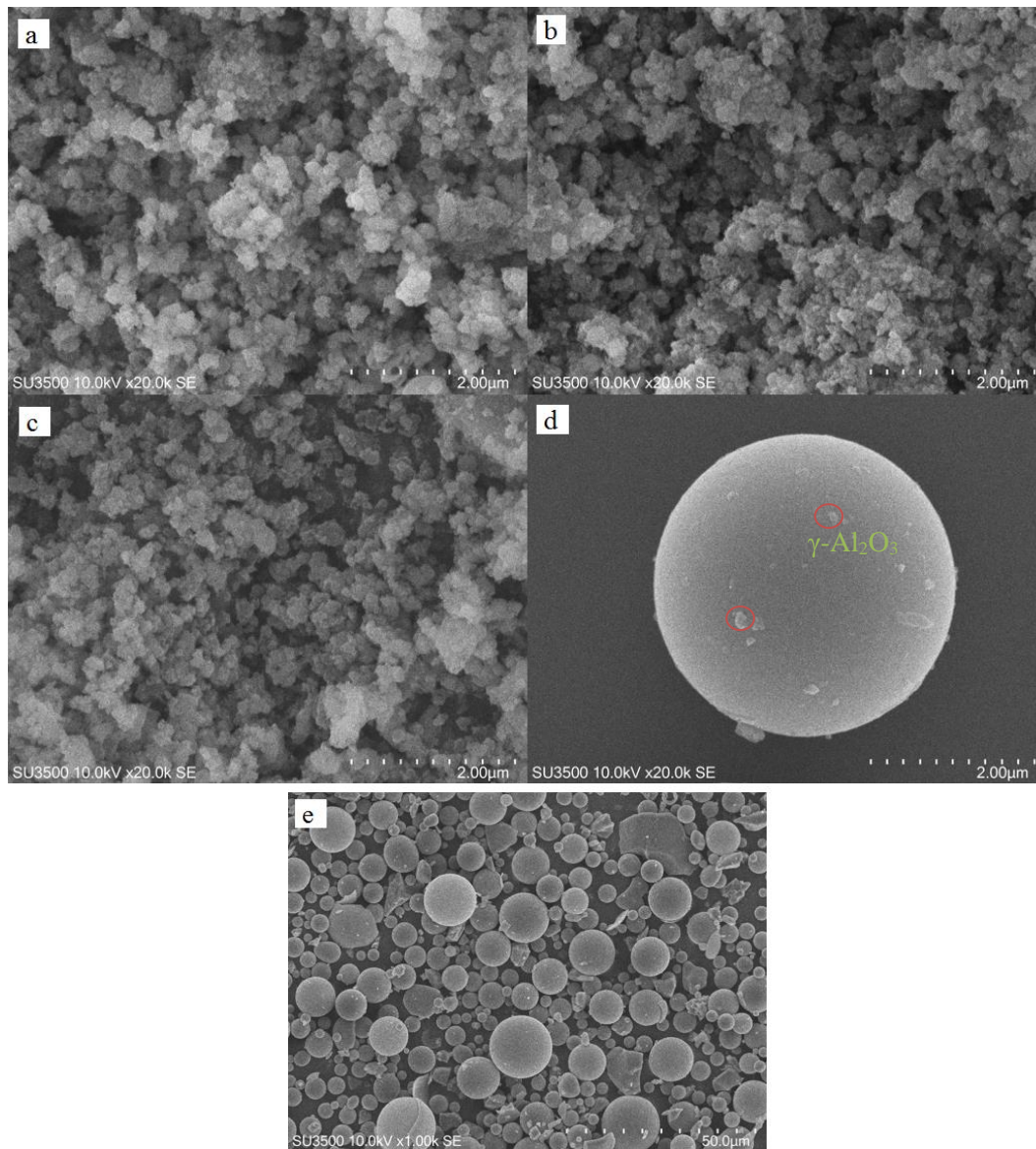
Gambar 4.19 Energi celah pita dari variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.

Energi celah pita variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dapat dilihat pada Gambar 4.19. Lebar energi celah pita pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dari Gambar 4.19 (a) yaitu pada rentang (2,58-2,76) eV. Pada Gambar 4.19 (b) menunjukkan energi celah pita pada  $\text{SiO}_2$  GS dengan rentang (1,84-2,02) eV. Sampel dengan energi celah pita paling sempit terdapat pada 10%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  yaitu 2,58 eV dan 1,84 eV. Penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dapat menyempitkan energi celah pita pada  $\text{SiO}_2$ . Masing-masing energi celah pita dari  $\text{SiO}_2$  lumpur dan GS yaitu 2,68 eV dan 2,11 eV. Penyempitan energi celah pita terjadi dengan bertambahnya penambahan nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  hingga 10%. Penambahan nanopartikel  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  20% kembali meningkat yaitu 2,76 eV dan 2,02 eV.

Berdasarkan Gambar 4.20 menunjukkan distribusi partikel disetiap sampel. Pada sampel dengan fraksi 10% terlihat lebih homogen dibandingkan dengan fraksi lainnya, karena distribusi yang terlihat tidak melebar serta mempunyai intensitas tertinggi. Pada fraksi lainnya dapat dikatakan penyebarannya belum merata dan kurang homogen dikarenakan terlihat peak yang melebar serta munculnya peak lebih dari satu. Hasil pengujian PSA diperoleh rata-rata distribusi ukuran partikel pada penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan fraksi 5%, 10%, 20% pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo masing-masing sebesar 1.049,7 nm, 1.635nm, 1.165,6 nm, dan penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan fraksi 10%  $\text{SiO}_2$  GS yaitu sebesar 2.465nm



Gambar 4.20 Distribusi ukuran partikel pada variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$



Gambar 4.21 Hasil pengujian SEM dari fraksi penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan perbesaran  $20.000\times$  pada fraksi (a) 5%, (b) 10%, dan (c) 20% pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo, (d) 10% pada  $\text{SiO}_2$  GS, dan (e) 10% pada  $\text{SiO}_2$  GS dengan perbesaran  $100.000\times$

Hasil pengujian SEM dengan variasi fraksi dapat dilihat pada Gambar 4.21 dengan perbesaran  $20.000\times$  dan  $100.000\times$  pada 10%  $\text{SiO}_2$  GS. Pada sampel variasi fraksi penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo sulit diamati, hal ini dikarenakan warna  $\text{SiO}_2$  yang hampir sama dengan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Sampel pada  $\text{SiO}_2$  GS terlihat adanya  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  yang menempel, selain itu pada perbesaran  $100.000\times$

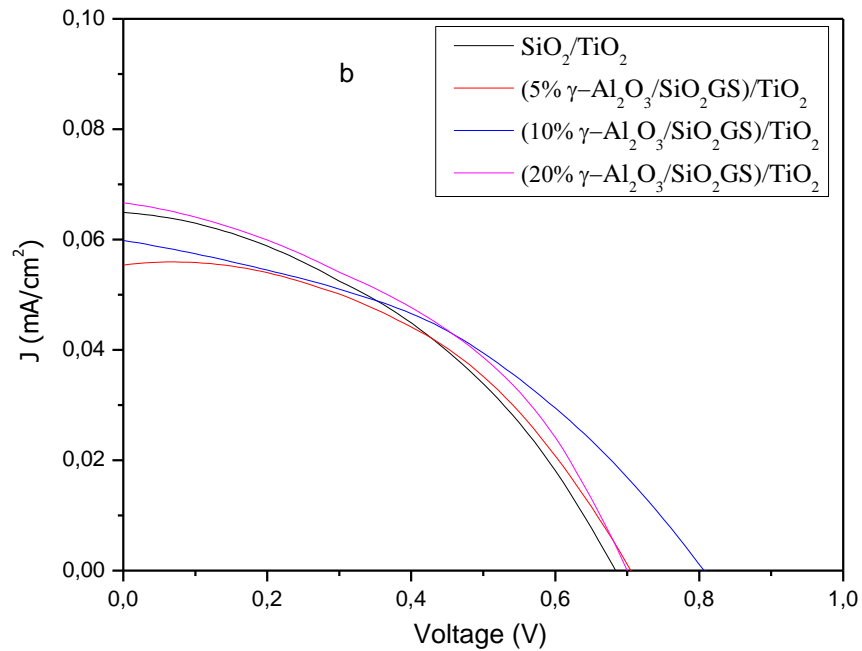
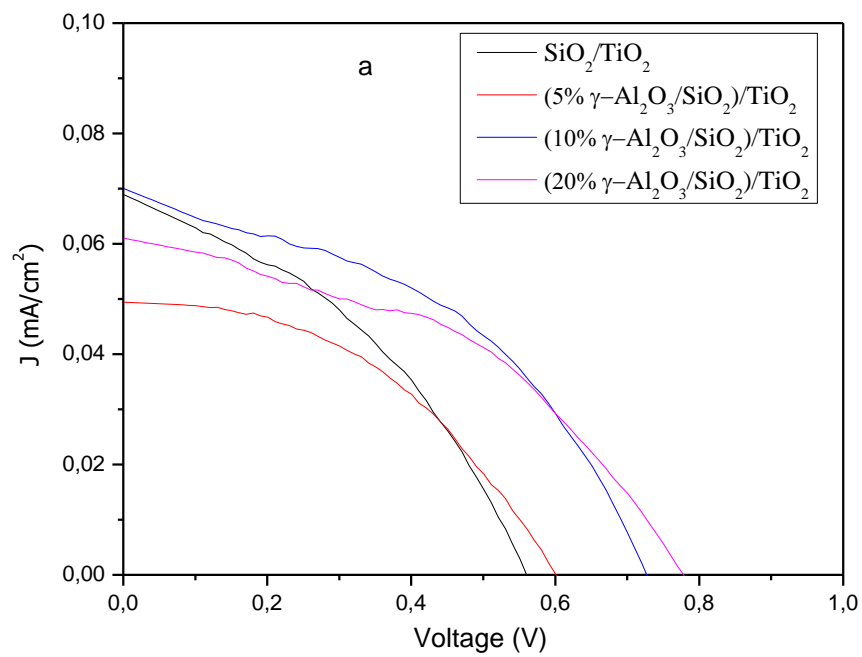


terlihat bintik-bintik putih yang menempel pada SiO<sub>2</sub> GS. Distribusi dari ukuran partikel dapat dibantu dengan hasil pengujian PSA.

Gambar EDX (lampiran H) sampel dari SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dengan variasi fraksi memperlihatkan intensitas tertinggi terdapat pada unsur O serta intensitas dari unsur Si semakin menurun dan intensitas unsur Al meningkat sesuai dengan meningkatnya dari jumlah fraksi penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pada hasil EDX dari SiO<sub>2</sub> GS muncul peak Al, sehingga terlihat adanya penambahan dari  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada SiO<sub>2</sub> GS yang dapat dilihat dari Gambar hasil EDX dari SiO<sub>2</sub> GS tidak ada peak Al. Pada hasil XRD peak dari  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> semakin menurun dengan bertambahnya  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan tidak terlihatnya peak  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada SiO<sub>2</sub> GS, dikarenakan pada saat pengujian sampel tidak homogen sehingga tidak terdeteksi peak dari  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kandungan dari unsur Si semakin menurun dengan meningkatnya dari penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sementara pada unsur Al pada fraksi 5% memiliki kandungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan fraksi 10% dan 20%. Pada fraksi 10% dan 20% kandungan unsur Al meningkat dengan meningkatnya fraksi dari penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal ini disebabkan pada fraksi 5% distribusi yang tidak merata seperti hasil PSA (Gambar 4.21) yang menghasilkan puncak yang melebar dan intensitas yang rendah. Komposisi dari variasi variasi fraksi penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada SiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Komposisi dari variasi fraksi penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada SiO<sub>2</sub>

Fraksi		Unsur wt (%)						
		Si	O	Al	Na	Cl	C	Ca
Lumpur	5%	10,78	53,74	3,46	8,09	0,63	23,3	-
Sidoarjo	10%	6,05	50,72	2,2	6,12	0,3	34,62	-
	20%	4,78	49,87	3,17	4,8	0,24	37,15	-
GS	10%	13,42	55,7	1,84	12,4		16,17	0,46

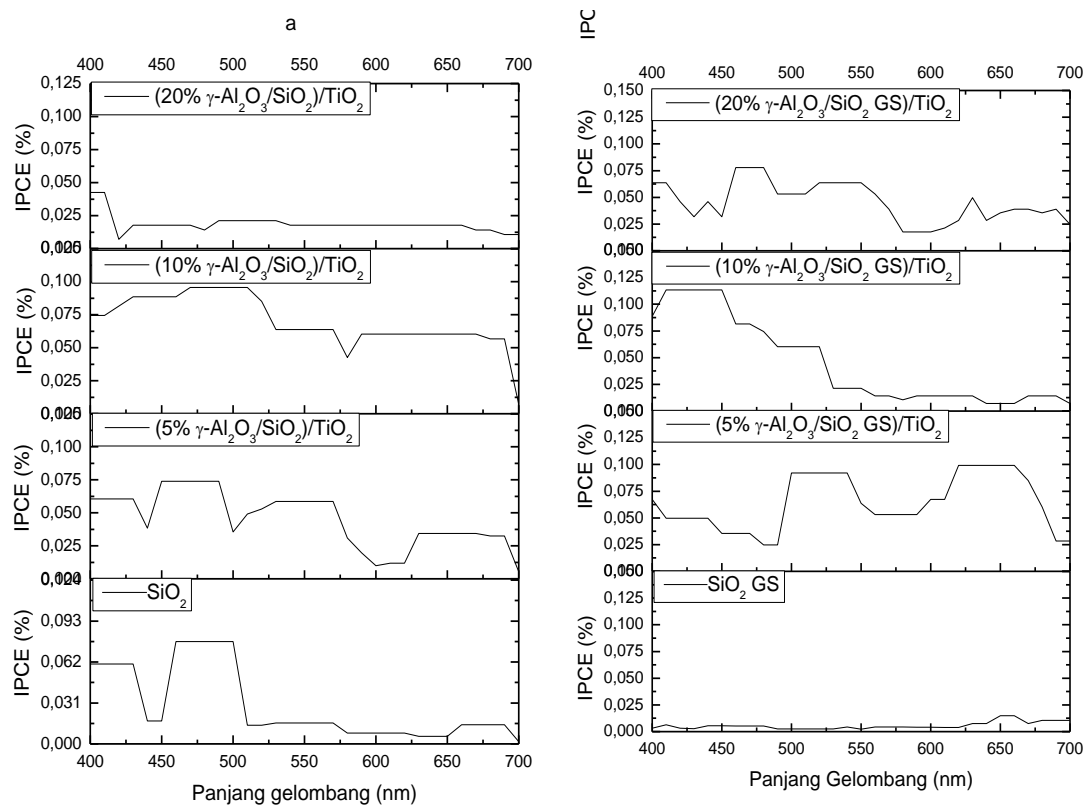


Gambar 4.22 Kurva J-V dari photoanoda variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (a) lumpur Sidoarjo, (b) GS

Gambar 4.22 memperlihatkan kurva J-V DSSC dari photoanoda variasi  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  pada saat disinari cahaya  $100 \text{ mW/cm}^2$ . Hasil pengukuran pada Tabel 4.7 menunjukkan penambahan nanopartikel  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat meningkatkan nilai Voc, semakin bertambahnya penambahan  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  semakin besar nilai Voc. Peningkatan nilai Voc dan Jsc tidak hanya dibandingkan dengan  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ , namun nilai Voc variasi  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  lebih tinggi dan nilai Jsc lebih rendah dari pada  $\text{TiO}_2$  hasil penelitian Paramudita (Paramudita, 2018). Kehadiran  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  didalam photoanoda mengakibatkan peningkatan nilai Voc karena adanya penghambatan rekombinasi seperti yang dilaporkan Kim, 2010 (Kim et al., 2010). Hal tersebut terlihat pada hasil pengukuran variasi pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo, namun pada  $\text{SiO}_2$  GS peningkatan Voc dan menurunnya nilai Jsc hingga variasi 10%  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan kembali menurun nilai Voc dan meningkat nilai Jsc pada 20%  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ . Penambahan nanopartikel  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan GS daya maksimum yang tertinggi terdapat pada 10%  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  masing-masing memiliki nilai sebesar 0,007mW dan 0,064 mW serta nilai efisiensinya 0,0279% dan 0,0257%. Peningkatan efisiensi mencapai 33% pada lumpur Sidoarjo dan 9% pada GS dibandingkan tanpa penambahan  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Data hasil pengukuran dari performansi DSSC dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data pengukuran performansi DSSC dari photoanoda variasi  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$

Fraksi	Voc (V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Pmax (mW)	FF %	$\eta$ (%)	Peningkatan terhadap $\text{SiO}_2$ (%)
Lumpur	0%	0,551	0,069	0,0037	38,86	0,015
	5%	0,601	0,049	0,0033	44,71	0,013
	10%	0,721	0,061	0,0055	50,19	0,022
	20%	0,771	0,071	0,0051	37,81	0,021
Gs	0	0,681	0,061	0,0045	43,24	0,0180
	5%	0,700	0,057	0,0045	45,16	0,0181
	10%	0,800	0,058	0,0049	42,52	0,0198
	20%	0,691	0,065	0,0048	43,31	0,0196



Gambar 4.23 Grafik IPCE dari variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (a) lumpur Sidoarjo, dan (b) GS dengan photoanoda  $\text{TiO}_2$ .

Pengujian IPCE juga dilakukan untuk mengetahui performansi DSSC selain menggunakan pengukuran rapat arus dan tegangan (J-V) pada photoanoda yang telah dimodifikasi. Nilai IPCE yang tinggi menunjukkan bahwa proses transfer elektron dari pewarna ke pita konduktor terjadi secara efektif. Nilai IPCE yang tinggi menunjukkan transfer elektron dari  $\text{I}^-$  ke pewarna teroksidasi secara efektif, sehingga semakin banyak jumlah foton yang diubah menjadi arus (Varghese et al., 2008) (Hara et al., 2000). IPCE untuk  $\text{TiO}_2$  anatase terjadi pada panjang gelombang 400-600nm (Hwang et al, 2014).

Gambar 4.23 menyajikan grafik IPCE dari variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS dengan photoanoda  $\text{TiO}_2$  panjang gelombang 400-700 nm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa adanya penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  ke  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan GS dapat meningkatkan IPCE. Nilai IPCE  $\text{SiO}_2$  lumpur

Sidoarjo dan pada fraksi 5%, 10%, dan 20% masing-masing adalah 0,078%; 0,074%; 0,096%; dan 0,043%. IPCE optimum terjadi pada panjang gelombang 450-470 nm untuk lumpur Sidoarjo dan fraksi 5%-10%, sedangkan pada fraksi 20% pada panjang gelombang 390-400 nm.

IPCE SiO<sub>2</sub> GS dengan fraksi 5%, 10%, dan 20% yaitu: 0,015%; 0,092%; 0,113%; dan 0,078%. Konversi photon ke elektron pada SiO<sub>2</sub> GS dan fraksi 5%, 10%, dan 20% optimum masing-masing terjadi pada panjang gelombang 660-670 nm, 500-540 nm, 410-450 nm, dan 460-480 nm. Nilai IPCE SiO<sub>2</sub> GS dan SiO<sub>2</sub> paling tinggi terdapat pada fraksi 10% penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, hasil ini sesuai dengan pengujian I-V yang menghasilkan efisiensi paling tinggi pada fraksi 10%. Berdasarkan hasil uji IPCE terlihat naik dan turun nilai yang dihasilkan hal ini disebabkan sampel ini lebih memiliki sifat dan fungsi sebagai penghambur.

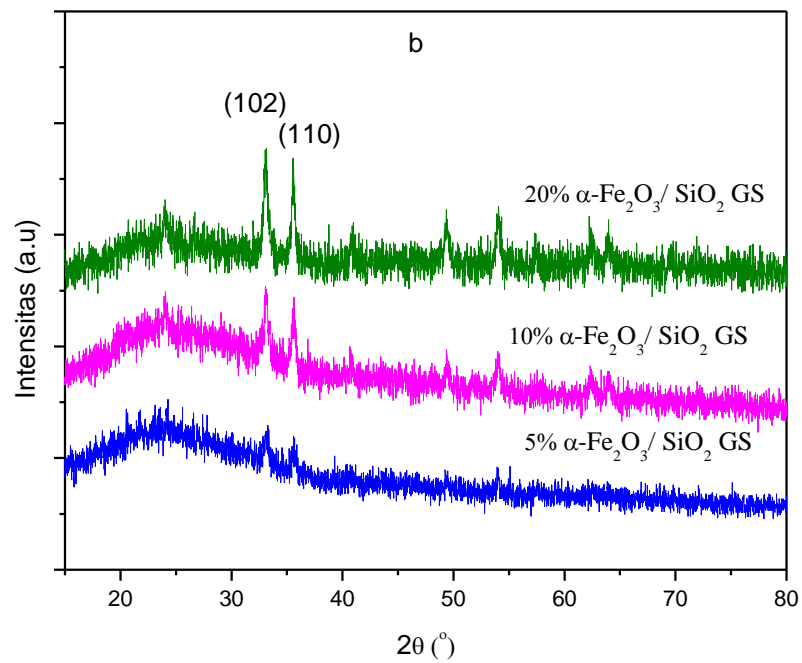
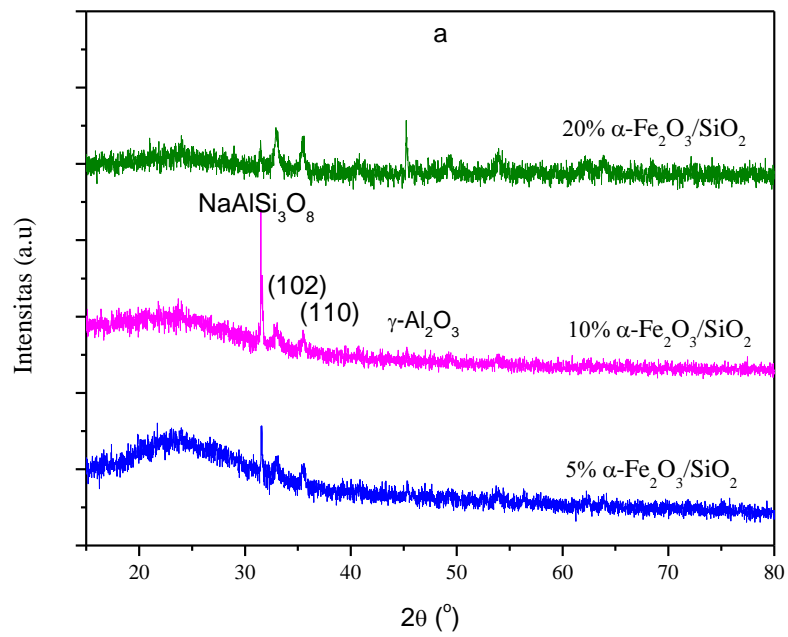
Pada penelitian ini, fraksi SiO<sub>2</sub> dibuat tetap dengan menambahkan variasi fraksi penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mengacu pada penelitian sebelumnya (Puspitasari et al., 2017). Penggunaan SiO<sub>2</sub> dengan jumlah yang tepat akan berfungsi sebagai penghambur, namun apabila dengan jumlah yang terlalu banyak akan menyebabkan partikel SiO<sub>2</sub> sebagai isolator yang juga dapat menurunkan efisiensi DSSC (Paramudita, 2018). Selain sebagai penghambur, partikel SiO<sub>2</sub> juga dapat meningkatkan penyerapan pewarna (Kumar et al., 2012). Hasil penelitian ini penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menghasilkan nilai IPCE dan efisiensi pada persentase 20% menurun hal ini disebabkan penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> sudah berfungsi sebagai isolator tidak lagi sebagai penghambur karena SiO<sub>2</sub> dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga memiliki sifat yang sama yaitu isolator. Partikel SiO<sub>2</sub> sebagai penyerap warna dapat dilihat pada hasil IPCE pada panjang gelombang 500-600 nm yang merupakan penyerapan dari dye N719 (Puspitasari et al., 2017).

#### **4.1.6 Karakterisasi Variasi Nanopartikel $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>**

Sampel yang telah disiapkan yaitu nanopartikel  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan persentase 5%, 10%, dan 20% telah ditambahkan ke dalam SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo dan SiO<sub>2</sub> GS. Sampel dengan variasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.26 dengan pola XRD. Gambar 4.26 (a) memperlihatkan puncak SiO<sub>2</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> masing-masing terdapat pada sudut 2 $\theta$ : 20,18°; 31,56° dan 45,37° serta puncak  $\alpha$ -

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  24,08°; 33,15°; 35,58°; 40,86°; 49,43°; 54,12°; 57,51°; 62,44°; dan 64,00°. Gambar 4.24 (a) memperlihatkan semakin meningkatnya puncak pada 2 $\theta$ : 31,56°  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  hingga 10% penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , serta menurunnya puncak yang terlihat pada sudut 45,37° yang dimiliki oleh  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  hingga 10% penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , namun meningkat kembali pada 20%. Pada puncak 2 $\theta$ : 24,08°; 33,15°; 35,58° dan 49,43° semakin meningkat dengan bertambahnya penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ke dalam  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo serta puncak tersebut sedikit bergeser ke kiri. Gambar 4.24 (b) memperlihatkan semakin bertambahnya penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ke dalam  $\text{SiO}_2$  GS terjadi peningkatan intensitas puncak  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  yang terbentuk. Gambar 4.24 memperlihatkan semakin menurun puncak  $\text{SiO}_2$  dengan bertambahnya persentase penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dan cenderung bergeser ke kanan.

Tabel 4.8 memperlihatkan nilai 2 $\theta$ , FWHM, dan ukuran kristal dari variasi nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS. Tabel tersebut memperlihatkan dengan semakin besar penambahan nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  sudut 2 $\theta$  pada  $\text{SiO}_2$  semakin bergerak ke kanan (sudut yang lebih besar). Nilai FWHM pada cenderung bervariasi. Nilai FWHM paling kecil terdapat pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo bervariasi dan nilai paling kecil terdapat pada persentase 10%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dengan nilai 0,0683. Ukuran kristal pada  $\text{SiO}_2$  meningkat hingga persentase 10% dan menurun kembali pada 20%. Berdasarkan Tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa variasi persentase 10%  $\text{SiO}_2$  mempunyai sifat kristalin yang baik.



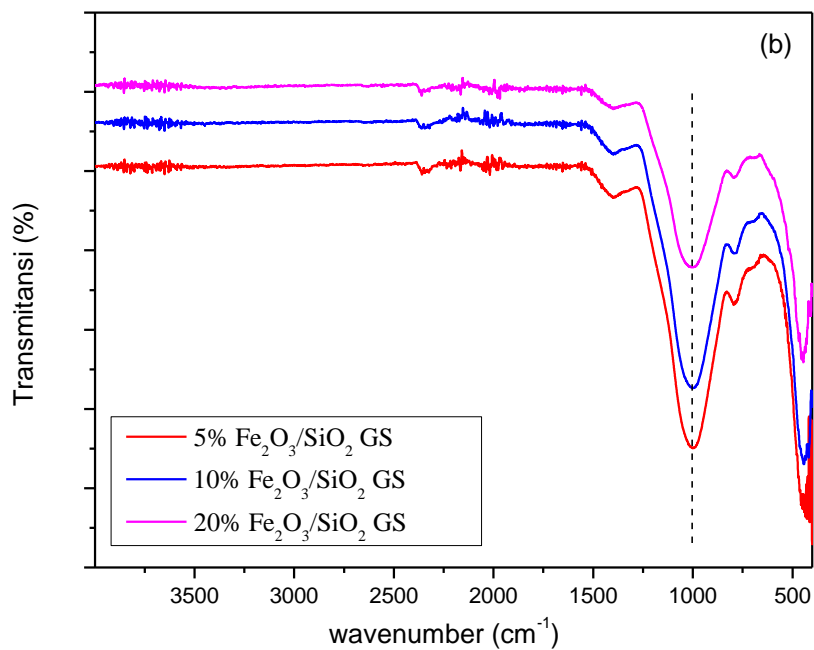
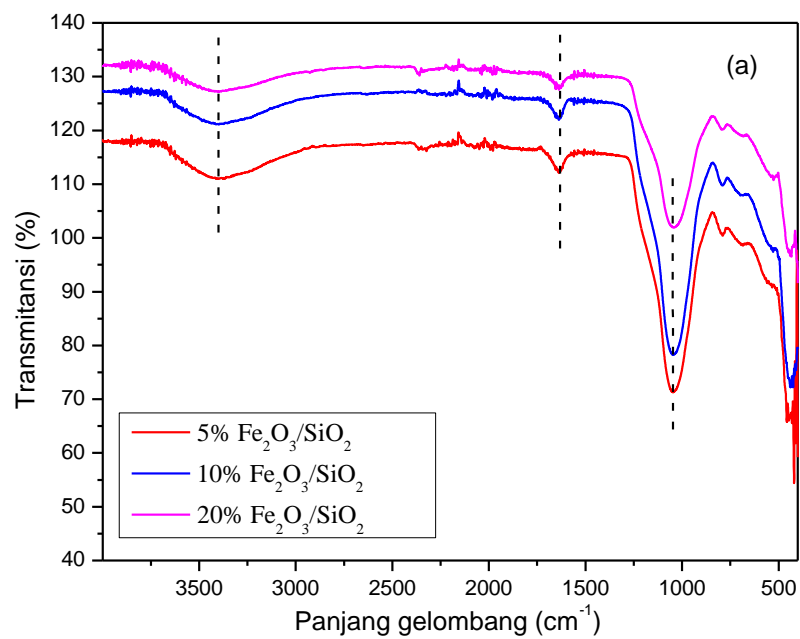
Gambar 4.24 XRD dari variasi  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.

Tabel 4.8 Nilai  $2\theta$ , FWHM, ukuran kristal pada variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS.

	Fraksi	SiO <sub>2</sub> lumpur sidoarjo	SiO <sub>2</sub> GS
5%	$2\theta$ (°)	20,50	23,96
	FWHM (°)	0,8021	0,1600
	Ukuran Kristal (nm)	10,574	54,334
10%	$2\theta$ (°)	20,83	23,98
	FWHM (°)	0,0683	0,0683
	Ukuran Kristal (nm)	124,448	130,161
20%	$2\theta$ (°)	20,99	23,92
	FWHM (°)	0,1667	0,1440
	Ukuran Kristal (nm)	50,921	60,352

Gambar 4.25 memperlihatkan hasil FT-IR variasi lumpur Sidoarjo. Analisis sampel menggunakan bilangan gelombang 400-4.000 cm<sup>-1</sup>. Hasil analisis tersebut menunjukkan adanya puncak yang hampir sama, namun terdapat sedikit pergeseran. Puncak ikatan vibrasi ulur –OH terdapat pada bilangan gelombang 3.200-3.600 cm<sup>-1</sup>. Ikatan Si-O dari Si-OH pada puncak bilangan gelombang 1630 cm<sup>-1</sup>. Pada puncak bilangan gelombang 450-636 cm<sup>-1</sup> merupakan ikatan vibrasi ulur Fe-O. Pada SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo fraksi 5% terdapat ikatan Fe-O dan pada fraksi 10% SiO<sub>2</sub> GS, pada fraksi lain kemungkinan tidak homogennya pada sampel ketika dikarakterisasi sehingga tidak munculnya ikatan Fe-O pada bilangan gelombang tersebut. Pada puncak bilangan gelombang 1088 cm<sup>-1</sup> merupakan ikatan molekul air, vibrasi asimetris dan simetris T-O eksternal (T adalah Si atau Al). Bilangan gelombang 420-500 cm<sup>-1</sup> adalah vibrasi tekuk Al-O. Hasil analisis spektrum FT-IR dapat dilihat pada Tabel 4.9.



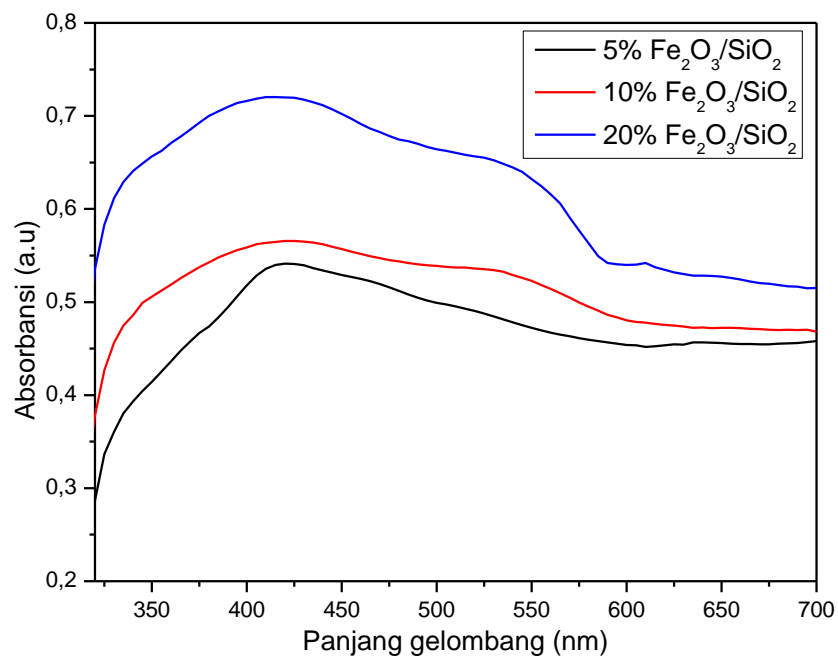
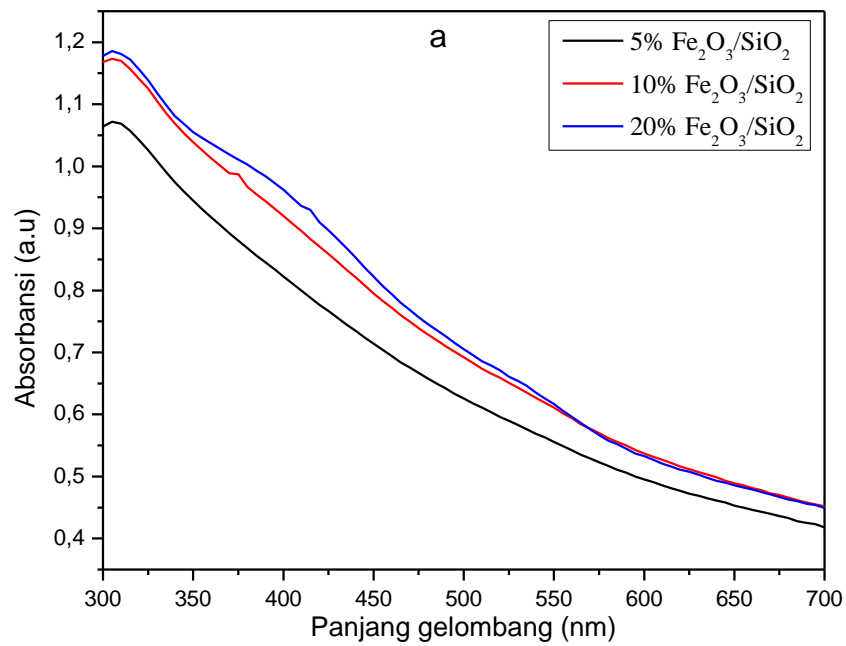


Gambar 4.25 XRD dari variasi  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) GS.

Tabel 4.9 Hasil analisis FT-IR pada variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan GS

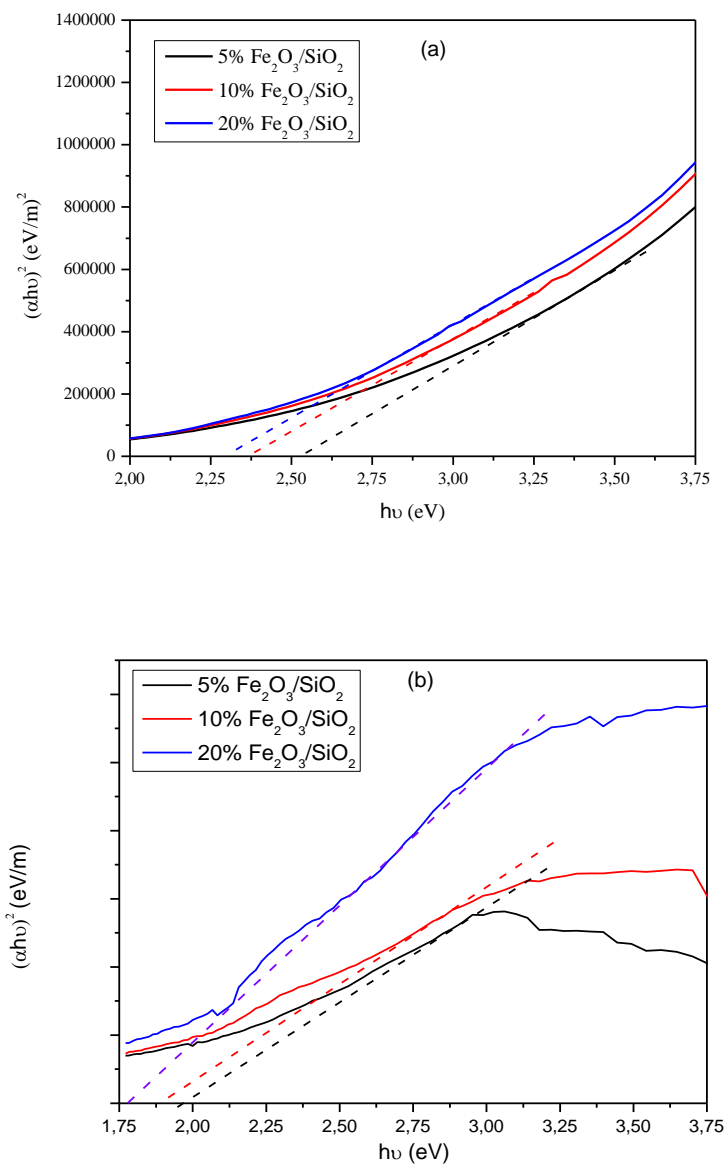
Indikasi gelombang (cm <sup>-1</sup> )	bilangan		Bilangan gelombang (cm <sup>-1</sup> )					
			Lumpur Sidoarjo			GS		
			5%	10%	20%	5%	10%	20%
1250-4000								
Vibrasi Ulur	–OH		3397,63	3398,08	3398,55	3650,45	3650,59	-
(Irawati et al., 2013)								
1630								
Vibrasi ulur Si-O dari Si-OH			1637,34	1637,39	1637,35	-	-	-
(Eddy et al., 2016)								
987, 1088								
Ikatan molekul air, vibrasi simetris dan asimetris T-O ( T adalah Si atau Al)			-	1046,89	1042,82	1000,05	999,75	1000,33
(Abdulloh et al., 2017), (Irawati et al., 2013)								
450-636								
Vibrasi ulur Fe-O (Abdel-Wahab et al., 2017)			457,60	-	-	-	-	450,00
(Zolghadr et al., 2017)								
420-500			430,42	439,49	433,95	445,60	444,11	427,69
Vibrasi tekuk Al-O			420,02	425,09		417,54	418,00	420,64
(Irawati et al., 2013)			410,76					414,16

Absorbansi dari variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan GS dapat dilihat pada Gambar 4.26 dengan panjang gelombang 300-700 nm. Gambar 4.26 (a) dan (b) memperlihatkan absorbansi paling tinggi terjadi pada panjang gelombang 320 nm. Absorbansi maksimum terdapat pada sampel 20%  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>. Pengaruh penambahan nanopartikel  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> semakin meningkat penambahan persentase  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> semakin meningkat absorbansi hingga 20%. Pada Gambar 4.26 (a) terdapat absorbansi dari  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> paada panjang gelombang 390 nm. Gambar 4.26 (b) memperlihatkan absorbansi dari  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada panjang gelombang 390 nm disetiap variasi dan absorbansi 590 nm sampel 10% dan 20%.



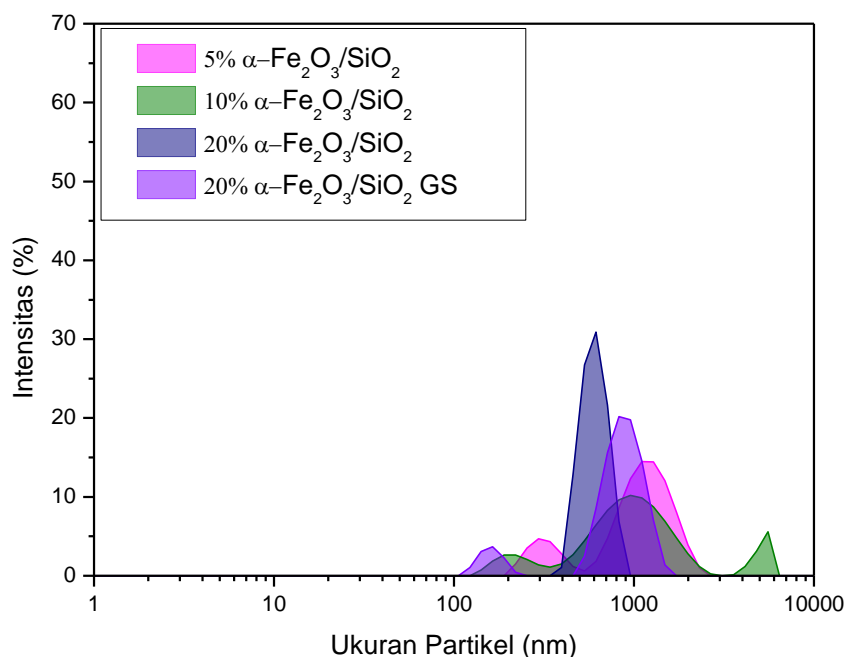
Gambar 4.26 Absorbansi dari variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.

Energi celah pita variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.27. Lebar energi celah pita pada SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dari Gambar 4.27 (a) yaitu pada rentang (2,29-2,55) eV. Gambar 4.27 (b) menunjukkan energi celah pita pada SiO<sub>2</sub> GS dengan rentang (1,78-1,98) eV. Gambar 2.27 memperlihatkan adanya penyempitan lebar celah pita dengan semakin meningkat persentase penambahan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sampel dengan energi celah pita paling sempit terdapat pada 20%  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> yaitu 2,29 eV dan 1,78 eV.

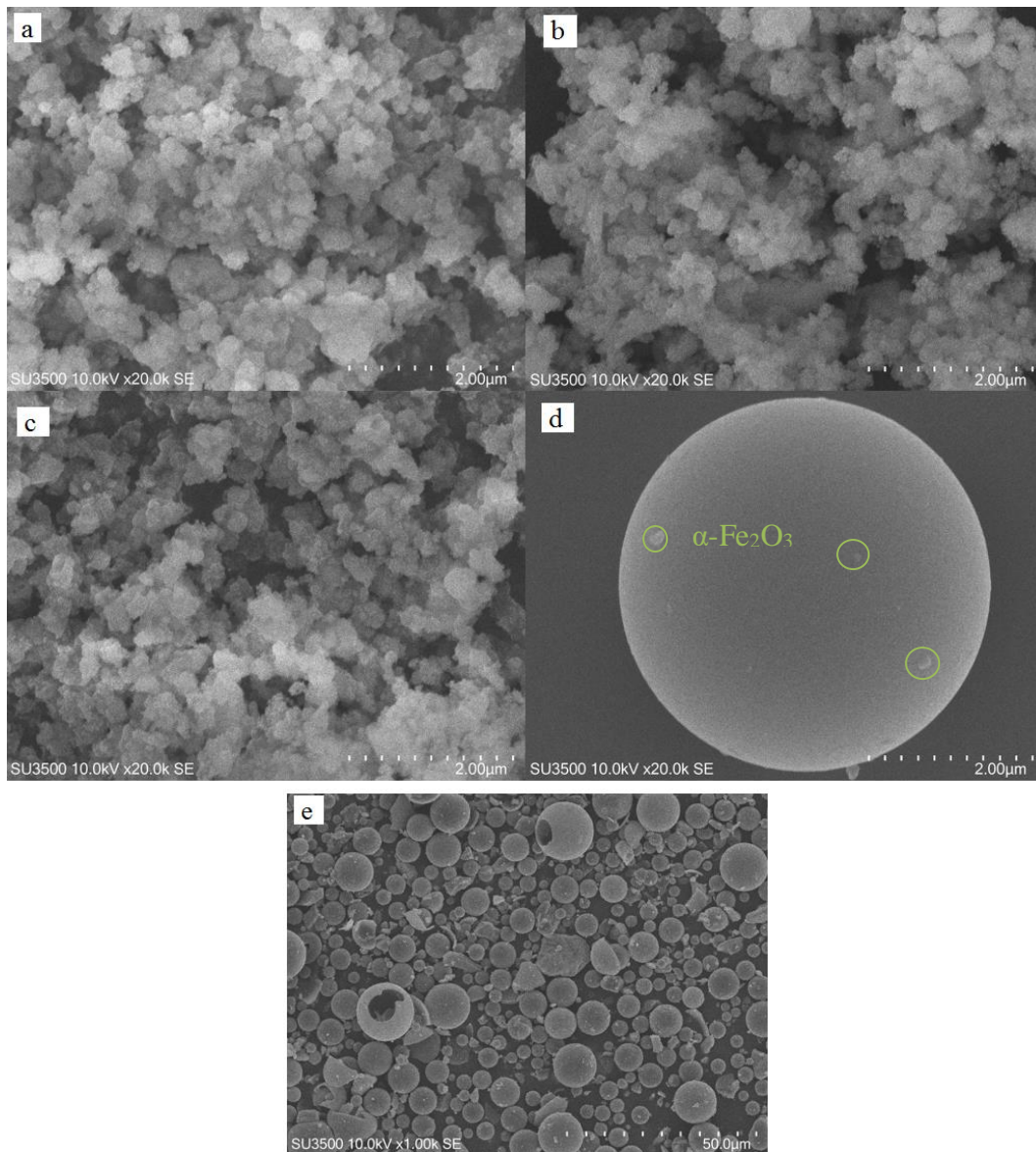


Gambar 4.27 Energi celah pita dari variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> (a) ekstraksi lumpur Sidoarjo dan (b) Glass sphere.

Berdasarkan gambar 4.28 menunjukkan distribusi partikel pada variasi fraksi  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Pada sampel dengan fraksi 20% terlihat lebih homogen dibandingkan dengan fraksi lainnya, karena distribusi yang terlihat tidak melebar serta mempunyai intensitas tertinggi. Pada fraksi lainnya dapat dikatakan penyebarannya belum merata dan kurang homogen dikarenakan terlihat peak yang melebar serta munculnya peak lebih dari satu. Hasil pengujian PSA diperoleh rata-rata distribusi ukuran partikel pada penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dengan fraksi 5%, 10%, 20% pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo masing-masing sebesar 951,96 nm, 936,92 nm, 852,4 nm, dan penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dengan fraksi 10%  $\text{SiO}_2$  GS yaitu sebesar 1.653,6 nm.



Gambar 4.28 Distribusi ukuran partikel pada variasi  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ .



Gambar 4.29 Hasil pengujian SEM dari fraksi penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dengan perbesaran  $20.000\times$  pada fraksi (a) 5%, (b) 10%, dan (c) 20% pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo, (d) 20% pada  $\text{SiO}_2$  GS, dan (e) 20% pada  $\text{SiO}_2$  GS dengan perbesaran  $100.000\times$

Hasil pengujian SEM dengan variasi fraksi 10%  $\text{SiO}_2$  GS dapat dilihat pada Gambar 4.29 dengan perbesaran  $20.000\times$  dan  $100.000\times$ . Pada sampel variasi fraksi penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo sama halnya dengan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  yaitu sulitnya dalam mengamati penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Pada Gambar 4.29 (e) terlihat bintang-bintang putih yang menempel pada  $\text{SiO}_2$  GS menandakan adanya  $\alpha\text{-}$

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Distribusi dari ukuran partikel dapat dibantu dengan hasil pengujian PSA (Gambar 4.28) pada penambahan fraksi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> distribusi tidak homogen.

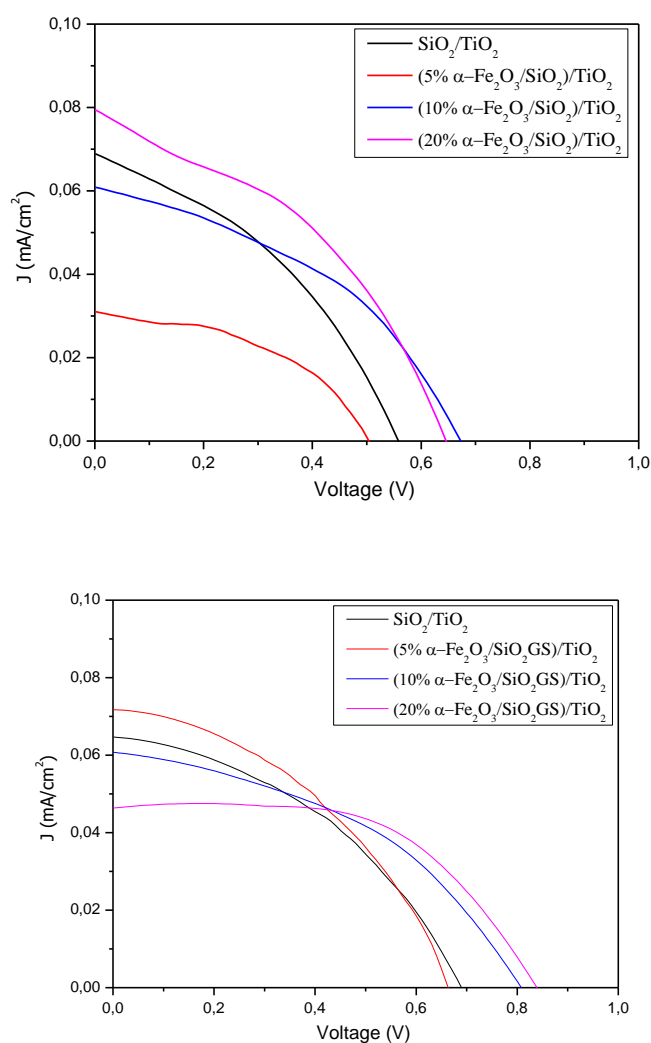
Hasil pengujian EDX dengan variasi fraksi terdapat pada Gambar hasil EDX (Lampiran H). Pada hasil EDX dari SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo peak dari unsur Fe hanya muncul pada fraksi 20% yaitu sebesar 0,37%, hal ini dikarenakan kurang homogen sampel pada fraksi 5% dan 10% sehingga peak Fe pada hasil EDX tidak terlihat dan dapat dilihat dari hasil SEM pada fraksi 5% dan 10% seperti menggumpal. Pada  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo muncul peak Al dan Na karena hasil dari ekstraksi lumpur Sidoarjo terdapatnya peak NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> dan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terlihat pada hasil XRD lumpur Sidoarjo. Adanya unsur Cl dikarekan kurang bersih dalam pencucian sampel yang dititiasi menggunakan HCl pada saat proses ekstraksi. Pada SiO<sub>2</sub> GS 20% peak unsur Fe dengan kandungan 0,21%. Unsur Na dan Ca terdapat dari komposisi SiO<sub>2</sub> GS (lampiran F). Komposisi dari masing-masing unsur pada variasi fraksi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Komposisi dari variasi fraksi penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada SiO<sub>2</sub>

Fraksi		Unsur wt (%)							
		Si	O	Al	Na	Cl	C	Ca	Fe
Lumpur	5%	6,05	55,62	1,45	5,61	0,3	30,73	-	-
Sidoarjo	10%	6,49	49,87	3,17	4,8	0,11	37,15	-	-
	20%	5,05	44,76	1,86	5,54	0,35	38,84	-	0,37
GS	10%	10,72	55,59	1,84	10,97	-	21,09	0,26	0,21

Gambar 4.30 memperlihatkan kurva J-V DSSC dari photoanoda variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> pada saat disinari. Hasil pengukuran pada Tabel 4.11 menunjukkan penambahan nanopartikel  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat meningkatkan nilai J<sub>sc</sub>, semakin bertambahnya penambahan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> semakin besar nilai J<sub>sc</sub>. Peningkatan nilai J<sub>sc</sub> tidak hanya dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>, nilai J<sub>sc</sub> variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> lebih tinggi dari pada nilai J<sub>sc</sub> TiO<sub>2</sub> hasil penelitian Paramudita (2018). Kehadiran  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> didalam photoanoda mengakibatkan peningkatan nilai J<sub>sc</sub>, hal tersebut disebabkan SiO<sub>2</sub> yang terbentuk tidak murni dengan kandungan Al yang lebih banyak dibandingkan Fe sehingga dapat meningkatkan nilai J<sub>sc</sub>. Pada SiO<sub>2</sub> GS nilai

Jsc menurun dengan penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , hal ini disebabkan semakin banyak jumlah  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  GS cenderung menjadi permukaan sebagai pusat rekombinasi dengan lebih banyak menangkap elektron (Sebehanie, 2017). Penambahan nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan GS menghasilkan daya maksimum dengan fraksi 20%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  masing-masing memiliki nilai sebesar 0,051 mW dan 0,057 mW serta nilai efisiensi masing-masing 0,021% dan 0,023%. Peningkatan efisiensi mencapai 28% pada lumpur Sidoarjo dan 22% pada GS dibandingkan tanpa penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Hasil optimum ini seperti hasil seperti penambahan fraksi 20%  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  (Sebehanie, 2017).



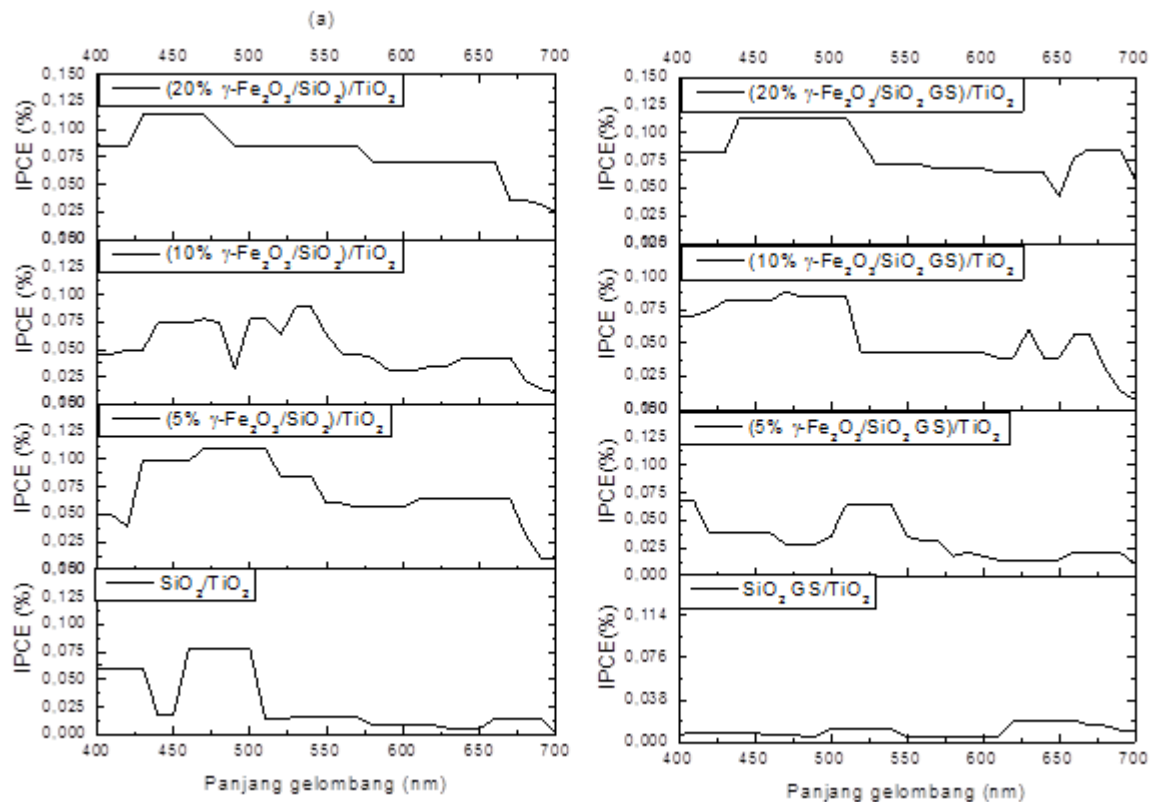
Gambar 4.30 Kurva J-V dari photoanoda variasi  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (a) lumpur Sidoarjo dan (b) GS



Tabel 4.11 Data pengukuran performansi DSSC dari photoanoda variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>

Fraksi	Voc (V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Pmax (mW)	FF %	$\eta$ (%)	peningkatan terhadap SiO <sub>2</sub> (%)
Lumpur	0%	0,551	0,0689	0,0037	38,86	0,015
	5%	0,501	0,0306	0,0018	46,89	0,007
	10%	0,671	0,0609	0,0043	41,85	0,017
	20%	0,641	0,0795	0,0051	40,36	0,021
Gs	0	0,68	0,067	0,0045	38,88	0,018
	5%	0,65	0,072	0,0049	41,70	0,019
	10%	0,80	0,063	0,0051	40,36	0,020
	20%	0,83	0,050	0,0057	59,12	0,023

Gambar 4.31 menyajikan grafik IPCE dari variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo dan GS dengan photoanoda TiO<sub>2</sub> panjang gelombang 400-700 nm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa adanya penambahan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ke SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan GS dapat meningkatkan IPCE. Nilai IPCE SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan fraksi 5%, 10%, 20% masing-masing adalah 0,075; 0,110; 0,089; dan 0,113. Konversi photon ke elektron optimum SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan fraksi 5%, 10%, 20% masing-masing terjadi pada panjang gelombang 450-470nm, 470-510nm, 530-540nm, dan 430-470 nm. Nilai IPCE pada SiO<sub>2</sub> GS dan fraksi 5%, 10%, 20% masing-masing adalah 0,017; 0,067; 0,0889; dan 0,113. IPCE SiO<sub>2</sub> GS dan fraksi 5%, 10%, 20% optimum masing-masing terjadi pada panjang gelombang 660-670 nm, 400-410 nm, 470 nm, dan 440-510 nm. Nilai IPCE SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo dan SiO<sub>2</sub> GS paling tinggi terdapat pada fraksi 20% penambahan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, hasil ini sesuai dengan pengujian I-V yang menghasilkan efisiensi paling tinggi pada fraksi 20%. Berdasarkan hasil uji IPCE terlihat naik dan turun nilai yang dihasilkan sama seperti pada penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat dikatakan memiliki sifat dan fungsi sebagai penghambur.

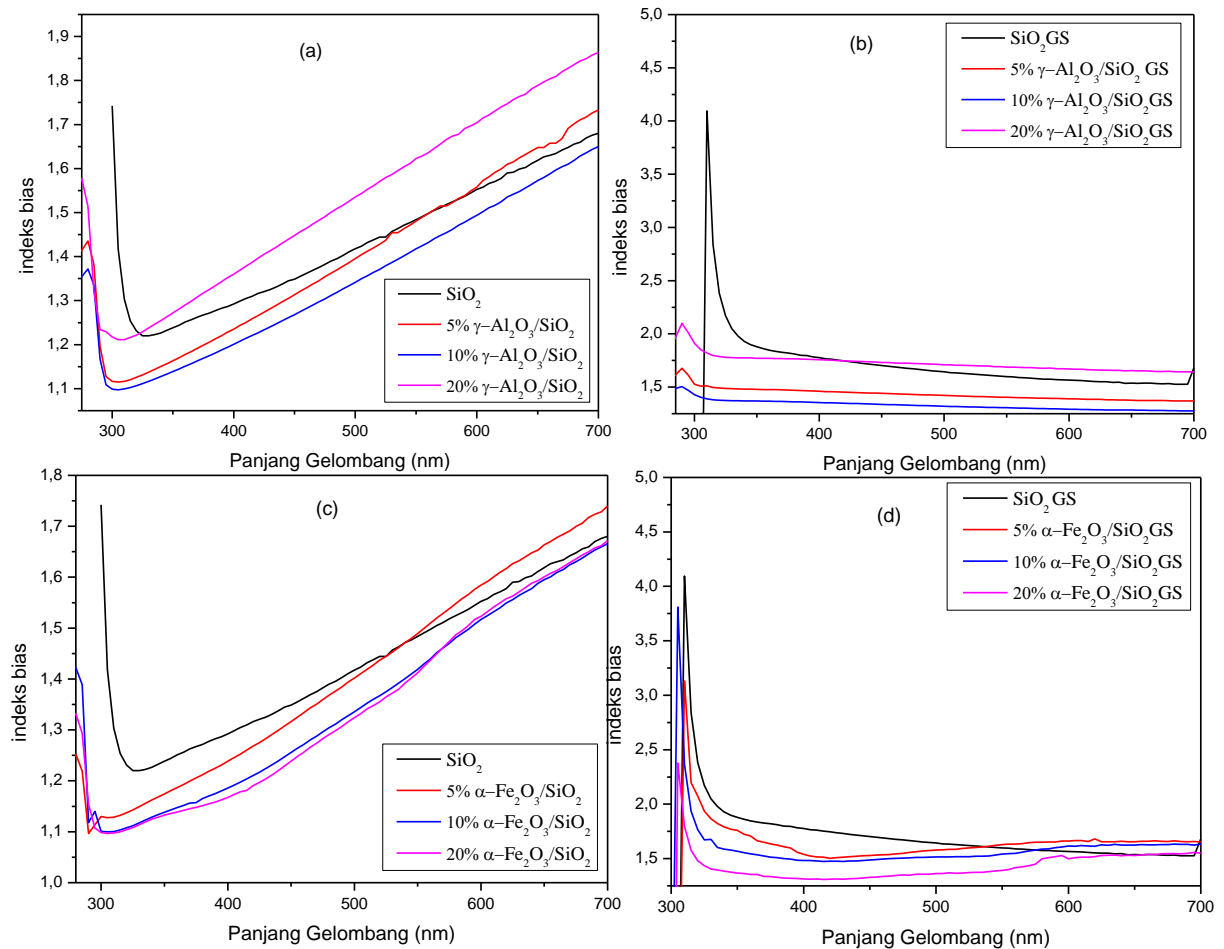


Gambar 4.31 Grafik IPCE dari variasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> dengan photoanoda TiO<sub>2</sub>

## 4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini telah dilakukan penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> masing-masing dengan variasi fraksi 5%, 10%, dan 20% dalam SiO<sub>2</sub> dengan tujuan menganalisa pengaruh dari penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> dan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> serta menganalisa perbedaan dari karakteristik SiO<sub>2</sub> ekstraksi lumpur Sidoarjo dan SiO<sub>2</sub> GS sebagai dielektrik dan penghambur cahaya pada photoanoda. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi dielektrik dan penghambur cahaya sehingga dapat meningkatkan efisiensi pada DSSC, yaitu:

- Fraksi  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- Indek bias
- Ukuran Partikel



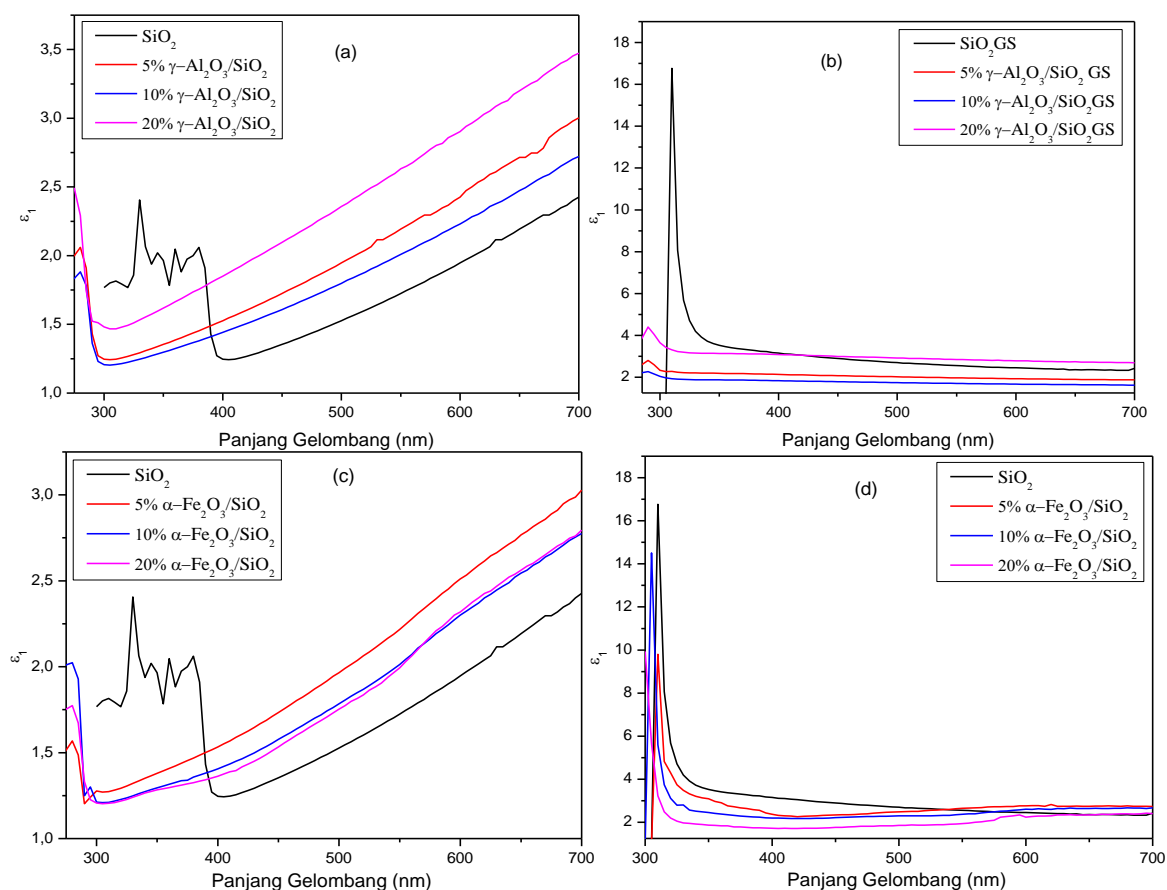
Gambar 4.32 variasi dari nilai indeks bias (a)  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo, (b)  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  GS, (c)  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan (d)  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  GS

Gambar 4.32 memperlihatkan nilai indeks bias dari setiap sampel. Nilai indeks bias diperoleh dari data UV-Vis dan dihitung menggunakan persamaan (D-8). Nilai indeks bias yang mendekati sama dengan 1 akan menghasilkan penyerapan yang optimum. Gambar 4.32 memperlihatkan nilai indeks bias yang minimum terdapat pada fraksi 10%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan 5%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  masing-masing bernilai 1,45 dan 1,26 pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo sedangkan pada penambahan fraksi 10%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan 20%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  masing-masing bernilai 1,51 dan 2,24 pada  $\text{SiO}_2$  GS.

Pada Gambar 4.33 memperlihatkan nilai dielektrik real. Nilai dielektrik didapat menggunakan persamaan (2.7). Nilai dielektrik yang tinggi terdapat pada panjang gelombang 300 nm sampel dengan fraksi 20%  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  sebesar 2,4 dan 10%  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 2,01 pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo sama dengan  $\text{SiO}_2$  GS pada

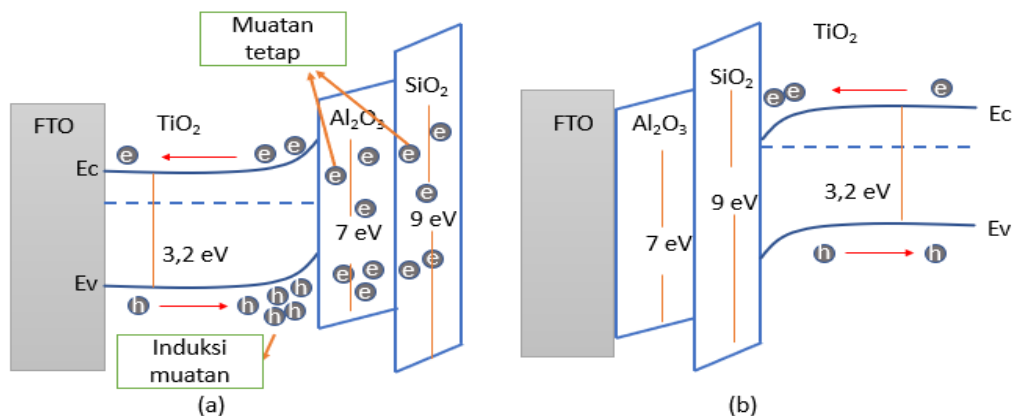
fraksi 20%  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 4,2 dan 10%  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 14. Nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan oleh GS jauh lebih besar dibandingkan nilai konstanta dielektrik lumpur Sidoarjo.

Penambahan fraksi dari  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kedalam SiO<sub>2</sub> mengakibatkan nilai dielektrik minimum pada 10%  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 1,82 dan 5%  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 1,61 sedangkan pada SiO<sub>2</sub> GS pada fraksi 10%  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 2,15 dan 20%  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 10. Penambahan  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada SiO<sub>2</sub> sebagai dielektrik yang baik digunakan dalam aplikasi DSSC adalah bahan dengan dielektrik yang kecil dan lapisan yang digunakan sangat tipis yang akan berfungsi mengurangi kehilangan pemantulan cahaya (Callister et al., 2009).



Gambar 4.33 variasi dari nilai konstanta dielektrik real (a)  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> lumpur Sidoarjo, (b)  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> GS, (c)  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> lumpu Sidoarjo dan (d)  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> GS

Pada teori *mie scattering* bahwa semakin besar perbedaan indeks bias partikel dan media sekeliling akan memperbesar hamburan cahaya. Sehingga pada fraksi 10%  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan 20%  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dapat dikatakan sebagai penghambur cahaya yang besar. Nilai indeks bias  $\text{TiO}_2$  secara teori adalah 2,5 dan nilai indeks bias yang dihasilkan berdasarkan perhitungan pada fraksi 10%  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah 1,37  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan 1,51  $\text{SiO}_2$  GS. Pada penambahan fraksi 20%  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah 1,36 pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan 2,24 pada  $\text{SiO}_2$  GS. Berdasarkan perbedaan indeks bias yang dihasilkan  $\text{SiO}_2$  dengan penambahan  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  memiliki sifat hamburan yang baik. Efisiensi yang dihasilkan pada penambahan  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sama (Tabel 4.7 dan Tabel 4.11), hal ini disebabkan perbedaan indeks bias yang dihasilkan oleh penambahan  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hampir sama  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pada penambahan  $\text{SiO}_2$  GS indeks bias yang dihasilkan adalah 2,24. Penambahan indeks bias besar dari 2 ( $n > 2$ ) akan menghasilkan hamburan cahaya yang besar dan dapat meningkatkan konversi arus yang besar (Yang et al, 2016).



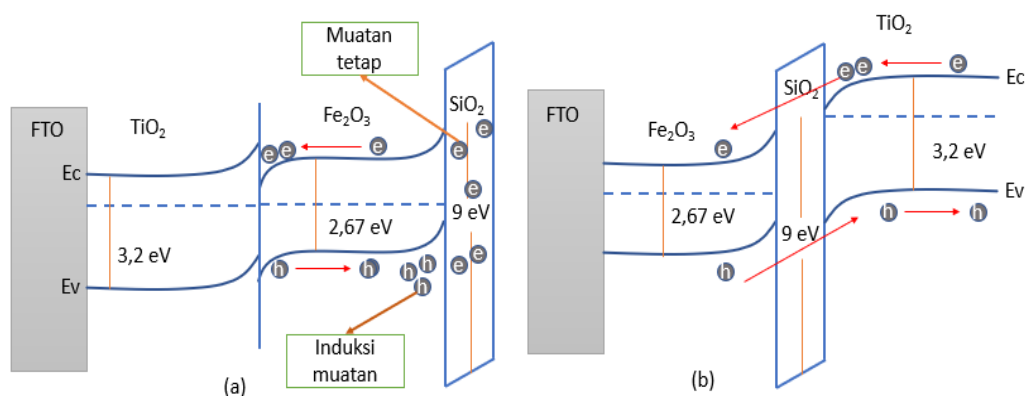
Gambar 4.34 Transfer elektron pada penambahan  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Zeng et al., 2016)

Penambahan  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada Gambar 4.34 memperlihatkan transfer elektron kemungkinan yang terjadi. Transfer elektron jika susunan material dengan asumsi seperti pada Gambar 4.34 (a).  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  memiliki peran yang sama. Kontak  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan  $\text{TiO}_2$  akan mengakibatkan foto generasi pada *hole* di pita valensi akan menjadi transport yang efisiensi dikarenakan efek dari medan listrik. Kehadiran muatan negatif yang tetap pada permukaan  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (efek-medan yang pasif) akan meningkatkan densitas pembawa muatan dan akan mengurangi rekombinasi. Sedangkan pada Gambar 4.34 (b) elektron pada  $\text{TiO}_2$  sulit mengalir

dikarenakan terdapat energi *barrier* dari  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  atau terjadinya akumulasi elektron pada  $\text{TiO}_2$ .

Penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  pada Gambar 4.35 memperlihatkan kemungkinan transfer elektron yang terjadi. Pada Gambar 4.35 (a) bahwa elektron pada  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  sulit untuk mengalir dikarenakan adanya energi *barrier* dari  $\text{TiO}_2$ , sehingga terjadinya akumulasi elektron pada  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Sedangkan pada Gambar 4.35 (b) antarmuka  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  akan membentuk permukaan muatan, sehingga elektron akan terlokalisasi pada perangkat, sehingga akan meningkatkan elektron pada  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Jika elektron pada  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  meningkat maka arus juga dapat meningkat.

Penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  akan memiliki karakteristik transfer muatan elektron yang berbeda. Transfer elektron yang dapat meningkatkan efisiensi DSSC diasumsikan pada penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  Gambar 3.4 (a) karena dapat meningkatkan densitas pembawa muatan dan mengurangi rekombinasi. Sedangkan pada penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Gambar 4.35 (b) diasumsikan dapat meningkatkan efisiensi karena dapat meningkatkan jumlah elektron sehingga dapat meningkatkan arus.



Gambar 4.35 Transfer elektron pada penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (Noh et al., 2013)

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan analisa penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan, sebagai berikut:

1. Penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  pada  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan GS optimum pada fraksi 10% dengan efisiensi sebesar 0,022% dan 0,0198%. Pengaruh penambahan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  terhadap DSSC berbasis  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS dapat meningkatkan efisiensi masing-masing sebesar 33% dan 9%. Pada penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  basis  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo dan GS optimum pada fraksi 20% dengan efisiensi masing-masing sebesar 0,021% dan 0,023%. Pengaruh penambahan  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  terhadap DSSC dapat meningkatkan efisiensi sebesar 28% untuk lumpur Sidoarjo dan 21% untuk  $\text{SiO}_2$  GS.
2. Perbedaan karakteristik  $\text{SiO}_2$  lumpur sidoarjo dan  $\text{SiO}_2$  GS terdapat pada absorbansi dan ukuran partikel.  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo memiliki penyerapan yang lebih baik dibandingkan dengan  $\text{SiO}_2$  GS, karena ukuran partikel yang dihasilkan  $\text{SiO}_2$  lumpur Sidoarjo lebih kecil dibandingkan dengan  $\text{SiO}_2$  GS.

*Halaman ini sengaja di kosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Wahab, A. M., Al-Shirbini, A. S., Mohamed, O., & Nasr, O. (2017). *Photocatalytic degradation of paracetamol over magnetic flower-like TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> core-shell nanostructures*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* (Vol. 347). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.07.030>
- Abdul Rashid, N. M., Haw, C., Chiu, W., Khanis, N. H., Rohaizad, A., Khiew, P., & Abdul Rahman, S. (2016). Structural- and optical-properties analysis of single crystalline hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanocubes prepared by one-pot hydrothermal approach. *Cryst Eng Comm*, 18(25), 4720–4732. <https://doi.org/10.1039/c6ce00573j>
- Abdulloh, A., Purkan, P., & Hardiansyah, N. (2017). Preparasi dan karakterisasi  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/zeolit Y untuk reaksi perengkahan asam palmitat AS. *Jurnal Kimia Riset*, 2(2), 69–76.
- Adziimaa, A. F., Risanti, D. D., & Mawarni, J. (2013). Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo, 1(1), 1–6.
- Arun Kumar, D., Merline Shyla, J., & Xavier, F. P. (2012). Synthesis and characterization of TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> nano composites for solar cell applications. *Applied Nanoscience*, 2(4), 429–436. <https://doi.org/10.1007/s13204-012-0060-5>
- Bayram, K., Gedik, N., Selin, P., & Serhan, A. (2015). Materials Science in Semiconductor Processing Band gap engineering and modifying surface of TiO<sub>2</sub> nanostructures by Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for enhanced-performance of dye sensitized solar cell, 31, 363–371. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.12.020>
- Bodurov, I. Vlaeva, A. Viraneva, T. Yovcheva, S. Sainov. Modified design of a laser refractometer, *Nanoscience & Nanotechnology* **16**, 31-33 (2016)
- Budiarti, H. A., Puspitasari, R. N., Dananjaya, E. A., Mawarani, L. J., & Risanti, D. (2015). Potensi Pemanfaatan SiO<sub>2</sub> Hasil Ekstraksi Lumpur Sidoarjo sebagai Inhibitor Korosi dan Partikel Scattering pada DSSC ( Dye-Sensitized Solar Cells ), (April), 284–287.

- Budiarti, H. A., Puspitasari, R. N., Hatta, A. M., Sekartedjo, & Risanti, D. D. (2017). Synthesis and Characterization of TiO<sub>2</sub>@SiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub> Core-Shell Structure Using Lapindo Mud Extract via Sol-Gel Method. *Procedia Engineering*, 170, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.013>
- Calister. W. D. Jr. & D. G. Retwisch. "Material Science and engineering an introduction. eight edition. 2009. America
- Castro, A. L., Nunes, M. R., Carvalho, A. P., Costa, F. M., & Florêncio, M. H. (2008). Synthesis of anatase TiO<sub>2</sub> nanoparticles with high temperature stability and photocatalytic activity. *Solid State Sciences*, 10(5), 602–606. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2007.10.012>
- Chou, C. S., Guo, M. G., Liu, K. H., & Chen, Y. S. (2012). Preparation of TiO<sub>2</sub> particles and their applications in the light scattering layer of a dye-sensitized solar cell. *Applied Energy*, 92, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.038>
- Colodrero, S., Mihi, A., Anta, J. A., Ocan, M., & Míguez, H. (2009). Experimental Demonstration of the Mechanism of Light Harvesting Enhancement in Photonic-Crystal-Based Dye-Sensitized Solar Cel, 1150–1154. <https://doi.org/10.1021/jp809789s>
- Dan, S., Gamma, K., Irawati, O. U., & Kalsinasi, T. (2013). Sintesis dan karakterisasi gamma alumina (γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dari kaolin asal tatakan, kamimantan berdasarkan variasi temperatur kalsinasi. *Molekul*, 8(1), 31–42.
- Fadli, A. F., & Tjahjanto, R. T. (2013). Ekstraksi silika dalam lumpur lapindo menggunakan metode kontinyu, 1(2), 182–187.
- Falahatdoost, S., Ara, M. H. M., Shaban, Z., & Ghazyani, N. (2015). Optical investigation of shell thickness in light scattering SiO<sub>2</sub> particle with TiO<sub>2</sub> nanoshells and its application in dye sensitized solar cells. *Optical Materials*, 47, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2015.06.053>
- Fan, K., Yu, J., & Ho, W. (2017). Improving photoanodes to obtain highly efficient dye-sensitized solar cells: A brief review. *Materials Horizons*, 4(3), 319–344. <https://doi.org/10.1039/c6mh00511j>

- Ferber, J., Stangl, R., & Luther, J. (1998). Electrical model of the dye-sensitized solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 53(1–2), 29–54. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(98\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(98)00005-1)
- Gangwar, J., Gupta, B. K., Tripathi, S. K., & Srivastava, A. K. (2015). Phase dependent thermal and spectroscopic responses of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructures with different morphogenesis. *Nanoscale*, 7(32), 13313–13344. <https://doi.org/10.1039/c5nr02369f>
- Grätzel, M. (2003). Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4(2), 145–153. [https://doi.org/10.1016/S1389-5567\(03\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S1389-5567(03)00026-1)
- Gupta, R. K., Cavas, M., & Yakuphanoglu, F. (2012). Structural and optical properties of nanostructure CdZnO films. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 95, 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.04.012>
- Halme, J. (2002). Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests Master's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology Supervisor: Professor Peter Lun. *Solar Cells*, 115.
- Han, C., Han, J., Li, Q., & Xie, J. (2013). Wet chemical controllable synthesis of hematite ellipsoids with structurally enhanced visible light property. *The Scientific World Journal*, 2013(October 2013). <https://doi.org/10.1155/2013/410594>
- Hanaor, D. A. H., & Sorrell, C. C. (2011). Review of the anatase to rutile phase transformation. *Journal of Materials Science*, 46(4), 855–874. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-5113-0>
- Hara, K., Horiguchi, T., Kinoshita, T., Sayama, K., Sugihara, H., & Arakawa, H. (2000). Highly efficient photon-to-electron conversion with mercurochrome-sensitized nanoporous oxide semiconductor solar cells, 64, 115–134.
- Hodak, H. J., A. Henglim., G.V. Hartland (2000). Photophysics of nanometer Sized Metal Particles: Electron-phono coupling and coherent exitation of

- breathing vibrational modes. *J-Phys. chem* (104) 9954-9965. doi: 10.1021/jp002256x
- Hwang, K. J., Park, J. Y., Jin, S., Kang, S. O., & Cho, D. W. (2014). Light-penetration and light-scattering effects in dye-sensitised solar cells. *New Journal of Chemistry*, 38(12), 6161–6167. <https://doi.org/10.1039/c4nj01459f>
- Jafari, A., Farjami Shayesteh, S., Salouti, M., & Boustani, K. (2015). Dependence of structural phase transition and lattice strain of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles on calcination temperature. *Indian Journal of Physics*, 89(6), 551–560. <https://doi.org/10.1007/s12648-014-0627-y>
- Jentoft, F. (2004). Diffuse Reflectance IR and UV-vis Spectroscopy Modern Methods in Heterogeneous Catalysis. *Modern Methods in Heterogeneous Catalysis*, 1–56. <https://doi.org/10.1007/s11064-009-0051-4>
- Jiang, Q., Gao, J., Tao, H., Fang, G., Wei, H., & Yi, L. (2014). Enhanced performance of dye-sensitized solar cells using silica/gold core-shell spheres modified photoanodes. *Materials Letters*, 134, 16–19. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.07.007>
- Kay, A., & Grätzel, M. (1996). Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 44(1), 99–117. [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(96\)00063-3](https://doi.org/10.1016/0927-0248(96)00063-3)
- Ke, L., Dolmanan, S. Bin, Shen, L., Pallathadk, P. K., Zhang, Z., Ying Lai, D. M., & Liu, H. (2010). Degradation mechanism of ZnO-based dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(2), 323–326. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.10.007>
- Kim, J.-Y., Kang, S. H., Kim, H. S., & Sung, Y.-E. (2010). Preparation of Highly Ordered Mesoporous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> and Its Application in Dye-Sensitized Solar Cells. *Langmuir*, 26(4), 2864–2870. <https://doi.org/10.1021/la902931w>
- Kraushofer, F., Jakub, Z., Bichler, M., Hulva, J., Drmota, P., Weinold, M., ... Parkinson, G. S. (2018). Atomic-Scale Structure of the Hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(11-02) “r-Cut” Surface. *Journal of Physical Chemistry C*, 122(3),

- 1657–1669. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b10515>
- Kwak, D.-J., Moon, B.-H., Lee, D.-K., Park, C.-S., & Sung, Y.-M. (2011). Comparison of transparent conductive indium tin oxide, titanium-doped indium oxide, and fluorine-doped tin oxide films for dye-sensitized solar cell application. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 6(5), 684–687. <https://doi.org/10.5370/JEET.2011.6.5.684>
- Lassoued, A., Dkhil, B., Gadri, A., & Ammar, S. (2017a). Control of the shape and size of iron oxide ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles synthesized through the chemical precipitation method. *Results in Physics*. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.07.066>
- Lee, C. K., Cho, E., Lee, H. S., Seol, K. S., & Han, S. (2007). Comparative study of electronic structures and dielectric properties of alumina polymorphs by first-principles methods. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 76(24), 1–7. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.76.245110>
- Lee, H. S., Choi, S. C., & Sohn, S. H. (2012). Surface modification of the TiO<sub>2</sub> light scattering layer for dye-sensitized solar cells (DSSCs). *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 565(1), 43–51. <https://doi.org/10.1080/15421406.2012.692225>
- Li, Z., Zhou, Y., Sun, R., Xiong, Y., Xie, H., & Zou, Z. (2014). Nanostructured SnO<sub>2</sub> photoanode-based dye-sensitized solar cells. *Chinese Science Bulletin*, 59(18), 2122–2134. <https://doi.org/10.1007/s11434-013-0079-3>
- Mallick, P., & Dash, B. N. (2013). X-ray Diffraction and UV-Visible Characterizations of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles Annealed at Different Temperature. *Nanoscience and Nanotechnology*, 3(5), 130–134. <https://doi.org/10.5923/j.nn.20130305.04>
- Mustopa, R. S., Adzima, A. F., Asy'Ari, M. K., & Risanti, D. D. (2013). Physical properties characterization of Porong Sidoarjo mud and its potentials as CO gas adsorbent materials. *AIP Conference Proceedings*, 1554(September), 75–78. <https://doi.org/10.1063/1.4820287>
- Niu, H., Liu, L., Wang, H., Zhang, S., Ma, Q., Mao, X., ... Xu, J. (2012). Significant influence of nano-SiO<sub>2</sub> on the performance of dye-sensitized solar cells

- based on P25. *Electrochimica Acta*, 81, 246–253.  
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.07.028>
- Niu, H., Zhang, S., Ma, Q., Qin, S., Wan, L., Xu, J., & Miao, S. (2013). Dye-sensitized solar cells based on flower-shaped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a photoanode and reduced graphene oxide-polyaniline composite as a counter electrode. *RSC Advances*, 3(38), 17228–17235. <https://doi.org/10.1039/c3ra42214c>
- Noh, E., Noh, K.-J., Yun, K.-S., Kim, B.-R., Jeong, H.-J., Oh, H.-J., ... Kim, S.-J. (2013). Enhanced Water Splitting by Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-FTO Photoanode with Modified Energy Band Structure. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2013/723201>
- O'regan. Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> film. *NATURE*, 353, 737–739.
- Ohkoshi, S. I., Namai, A., Imoto, K., Yoshikiyo, M., Tarora, W., Nakagawa, K., Tokoro, H. (2015). Nanometer-size hard magnetic ferrite exhibiting high optical-transparency and nonlinear optical-magnetoelectric effect. *Scientific Reports*, 5(August), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep14414>
- Palomares, E., Clifford, J. N., Haque, S. a, Lutz, T., & Durrant, J. R. (2002). Slow charge recombination in dye-sensitised solar cells (DSSC) using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated nanoporous TiO<sub>2</sub> films. *Chem. Commun.*, (14), 1464–1465. <https://doi.org/10.1039/b202515a>
- Paramudita, I., (2018). Fabrikasi dan Karakterisasi Fotoanoda Struktur Silicate Microsheet dengan Silica Gel dan SiO<sub>2</sub> Hasil Ekstraksi Lumpur Sidoarjo untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cells.
- Paranjpe, K. Y. (2017). Alpha , Beta and Gamma Alumina as a catalyst -A Review, 6(11), 236–238.
- Pillai, S. C., Periyat, P., George, R., McCormack, D. E., Seery, M. K., Hayden, H., Hinder, S. J. (2007). Synthesis of High-Temperature Stable Anatase TiO<sub>2</sub> Photocatalyst., (J.Phys.Chem.C)1605–1611.
- Puspitasari, R. N. (2016). Fabrication of Core-Shell Structure SiO<sub>2</sub>@TiO<sub>2</sub>@Au sebagai penghambur and material Plasmonic untuk aplikasi DSSC ( Dye-Sensitized Solar Cells ). Surabaya-Thesis
- Puspitasari, R. N., Budiarti, H. A., Hatta, A. M., Sekartedjo, & Risanti, D. D.

- (2017). Enhanced Dye-Sensitized Solar Cells Performance through Novel Core-shell Structure of Gold Nanoparticles and Nano-Silica Extracted from Lapindo Mud Vulcano. *Procedia Engineering*, 170(31), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.018>
- Puspitasari, R. N., Budiarti, H. A., Sekartedjo, & Dewi, R. D. (2015). Novel Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) using TiO<sub>2</sub> - nano SiO<sub>2</sub> Extracted from Sidoarjo Mud Vulcano Photoanode. *The 2nd International Conference on Materials and Metallurgical Technology 2015 (ICOMMET 2015)*, 2015(October), 2989–2994.
- Rahmanpour, O., Shariati, A., Reza, M., & Nikou, K. (2012). New Method for Synthesis Nano Size  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst for Dehydration of Methanol to Dimethyl Ether, 3(2), 2–5.
- Rangelova, N., Radev, L., Nenkova, S., Salvado, I. M. M., Fernandes, M. H. V., & Herzog, M. (2011). Methylcellulose/SiO<sub>2</sub>hybrids: Sol-gel preparation and characterization by XRD, FTIR and AFM. *Central European Journal of Chemistry*, 9(1), 112–118. <https://doi.org/10.2478/s11532-010-0123-y>
- Reda, S. (2013). Electric and dielectric propertiwis of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Silica nanocomposites, 1, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2005.04.090>
- Richhariya, G., Kumar, A., Tekasakul, P., & Gupta, B. (2017). Natural dyes for dye sensitized solar cell: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(April 2015), 705–718. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.198>
- Sebehanie, K. G. (2017). Comparative Study of ZnO / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite Sensitized with Natural Pigments for Dye Sensitized Solar Cell, 10(1), 199–214.
- Shakeel Ahmad, M., Pandey, A. K., & Abd Rahim, N. (2017). Advancements in the development of TiO<sub>2</sub> photoanodes and its fabrication methods for dye sensitized solar cell (DSSC) applications. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(March), 89–108. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.129>
- Son, M. K., Seo, H., Kim, S. K., Hong, N. Y., Kim, B. M., Park, S., Kim, H. J. (2012). Analysis on the light-scattering effect in dye-sensitized solar cell

- according to the TiO<sub>2</sub> structural differences. *International Journal of Photoenergy*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/480929>
- Son, S., Hwang, S. H., Kim, C., Yun, J. Y., & Jang, J. (2013). Designed synthesis of SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> core/shell structure as light scattering material for highly efficient dye-sensitized solar cells. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 5(11), 4815–4820. <https://doi.org/10.1021/am400441v>
- Sulaeman, U., & Zuhairi Abdullah, A. (2017). The way forward for the modification of dye-sensitized solar cell towards better power conversion efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(November 2016), 438–452. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.063>
- Tanvi, Mahajan, A., Bedi, R. K., Kumar, S., Saxena, V., & Aswal, D. K. (2016). Efficiency enhancement in dye sensitized solar cells using dual function mesoporous silica as scatterer and back recombination inhibitor. *Chemical Physics Letters*, 658, 276–281. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2016.06.071>
- Ullattil, S. G. (2017). Sol-Gel Materials for Energy, Environment and Electronic Applications, (February). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50144-4>
- Umar, A. A., Rahman, M. Y. A., Taslim, R., Salleh, M. M., & Oyama, M. (2012). Effect of the thickness of quasi one-dimensional zinc oxide nanorods synthesized via multiple growth process under ammonia assisted hydrolysis technique on the performance of dye-sensitized solar cell. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(9), 8384–8393.
- Varghese, O. K., & A., C. A. G. (2008). Appropriate strategies for determining the photoconversion efficiency of water photoelectrolysis cells: A review with examples using titania nanotube array photoanodes, 92, 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2007.11.006>
- Wang, H., Liu, Y., Li, M., Huang, H., Xu, H. M., Hong, R. J., & Shen, H. (2010). Multifunctional TiO<sub>2</sub> nanowires-modified nanoparticles bilayer film for 3D dye-sensitized solar cells. *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*, 4(8), 1166–1169. <https://doi.org/10.1039/b000000x>
- Wang, Z., Tang, Q., He, B., Chen, H., & Yu, L. (2015). Efficient dye-sensitized



- solar cells from curved silicate microsheet caged  $\text{TiO}_2$  photoanodes. An avenue of enhancing light harvesting. *Electrochimica Acta*, 178, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.07.120>
- Waterhouse, G. I. N., Chen, W. T., Chan, A., Jin, H., Sun-Waterhouse, D., & Cowie, B. C. C. (2015). Structural, optical, and catalytic support properties of  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  inverse opals. *Journal of Physical Chemistry C*, 119(12), 6647–6659. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b00437>
- Weiner, I., Rust, M., & Donnelly, T. D. (2001). Particle size determination: An undergraduate lab in Mie scattering. *American Journal of Physics*, 69(2), 129–136. <https://doi.org/10.1119/1.1311785>
- Wu, Sujuan. Han, Hongwei. Tai, Qidong. Zhang, Jing. Xu, Sheng. Zhou, Conghua, zhou. Yang, Ying. Hu, hao. Chen, Bolei. Zhao, X. (2008). improvement in dye-sensitized solar cells employing  $\text{TiO}_2$  electrodes coated with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  by reactive direct current magnetron sputtering. *Journal of Power Sources*, 182, 119–123.
- Wu, J., Lan, Z., Hao, S., Li, P., Lin, J., Huang, M., ... Huang, Y. (2008). Progress on the electrolytes for dye-sensitized solar cells. *Pure and Applied Chemistry*, 80(11), 2241–2258. <https://doi.org/10.1351/pac200880112241>
- Xie, D., Tang, X., Lin, Y., Ma, P., & Zhou, X. (2018). Electron transport properties of  $\text{TiO}_2$  shell on  $\text{Al}_2\text{O}_3$  core in dye-sensitized solar cells. *Chinese Physics B*, 27(1), 17804. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/27/1/017804>
- Yang, W., Chen, X., Liu, L., Yang, Q., & Yang, P. (2016). Light-scattering photoanodes from double-layered mesoporous  $\text{TiO}_2$  nanoparticles/ $\text{SiO}_2$  nanospheres for dye-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, 213, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.06.093>
- Yang, Z., Gao, P., Zhang, C., Li, X., & Ye, J. (2016). Scattering effect of the high-index dielectric nanospheres for high performance hydrogenated amorphous silicon thin-film solar cells. *Scientific Reports*, 6(March), 4–10. <https://doi.org/10.1038/srep30503>
- Zeng, M., Peng, X., Liao, J., Wang, G., Li, Y., Li, J., ... Lin, S. (2016). Enhanced photoelectrochemical performance of quantum dot-sensitized

- TiO<sub>2</sub>nanotube arrays with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>overcoating by atomic layer deposition. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18(26), 17404–17413. <https://doi.org/10.1039/c6cp01299j>
- Zolghadr, S., Kimiagar, S., & Davarpanah, A. M. (2017). Magnetic Property of  $\alpha$  - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GO Nanocomposite. *IEEE Transactions on Magnetism*, 53(12). <https://doi.org/10.1109/TMAG.2017.2733503>
- Zhu. W., Winterstein, A., Maimon, I., Yin, Q., Yuan, L., Kolmogorov, A.N., Sharma, R., Zhou, G., Atomic Structural Evolution during the Reduction of  $\alpha$  -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanowires *Wenhui* 1(3), 169–174.

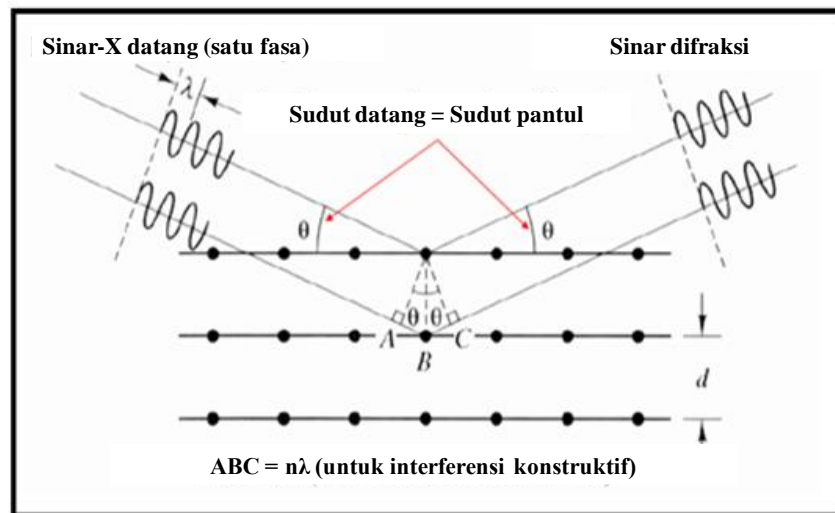
*Halaman ini sengaja di kosongkan*



## LAMPIRAN A

### DIFRAKSI SINAR-X (XRD)

XRD ditemukan oleh seorang berkebangsaan Jerman, Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895. XRD merupakan salah satu teknik dari karakterisasi material yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin pada material dengan menentukan struktur kisi untuk mendapatkan informasi tentang material tersebut.



Gambar A-1 Skema kerja XRD (Rahman, 2008)

Prinsip kerja dari spektrofotometri XRD adalah mengidentifikasi cahaya melalui celah kristal. Secara umum, cara kerja XRD yaitu ketika berkas sinar-X mengenai permukaan suatu material, maka ada tiga hal yang terjadi, yaitu berkas sinar tersebut akan diabsorpsi, ditransmisi, dan dihamburkan. XRD akan mendeteksi pada berkas sinar yang dihamburkan. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut mempunyai dua fasa, yaitu fasa berbeda (saling menghilangkan) dan fasa sama (saling menguatkan). Pada berkas sinar-X yang mempunyai fasa sama disebut berkas difraksi. Gambar A-1 menggambarkan skema kerja XRD dan Hukum Bragg dinyatakan pada persamaan di bawah ini:

Beda lintasan untuk kedua berkas termaksud adalah:

$$\Delta = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} - \overrightarrow{AC} = 2\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{AC}, \text{ karena } \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{BC} \quad (\text{A-1})$$

$$\text{Sedangkan } \overrightarrow{AB} = \frac{d}{\sin \theta} \text{ dan } \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AC} \cos \theta = \frac{2d}{\tan \theta} \cos \theta \quad (\text{A-2})$$

$$\text{Sehingga } \Delta = \frac{d}{\sin \theta} - \frac{2d}{\sin \theta} \cos^2 \theta = \frac{2d}{\sin \theta} (1 - \cos^2 \theta) \quad (\text{A-3})$$

$$\Delta = 2d \sin \theta \quad (\text{A-4})$$

Interferensi yang saling menguatkan terjadi apabila

$$\Delta = n\lambda \quad (\text{A-5})$$

Dimana: n adalah bilangan bulat positif

$\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X

Sehingga diperoleh hukum Bragg untuk refleksi oleh bidang kristal (hkl)

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (\text{A-6})$$

n= 1,2,3,4... dst (ordo pemantulan)

Untuk memperoleh indeks miller dapat digunakan persamaan berikut ini:

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}}} \quad (\text{A-7})$$

Dimana,  $h = n \frac{a}{x}; n \frac{b}{y}; n \frac{c}{z}$

Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran XRD kemudian dicocokkan dengan standar XRD untuk semua jenis material. Ukuran kristal dapat dihitung dengan persamaan Scherrer berikut ini;

$$D_v = \frac{K \lambda}{(b \cos \theta)} \quad (\text{A-8})$$

Dimana  $D_v$  adalah ukuran kristal (nm). K adalah konstanta Scherrer yang digunakan 0,9.  $\lambda$  merupakan panjang gelombang dari sinar-X yaitu cu  $K\alpha$ -1 1,540598Å. b adalah FWHM (*Full Width at Half Maximum*) dari puncak XRD (radians) dan  $\theta$  adalah setengah dari posisi XRD di  $2\theta$  (°).

Referensi:

Beiser, A. 2003. *Concepts of Modern Physics*. 6th Ed. New York. McGraw-Hill.

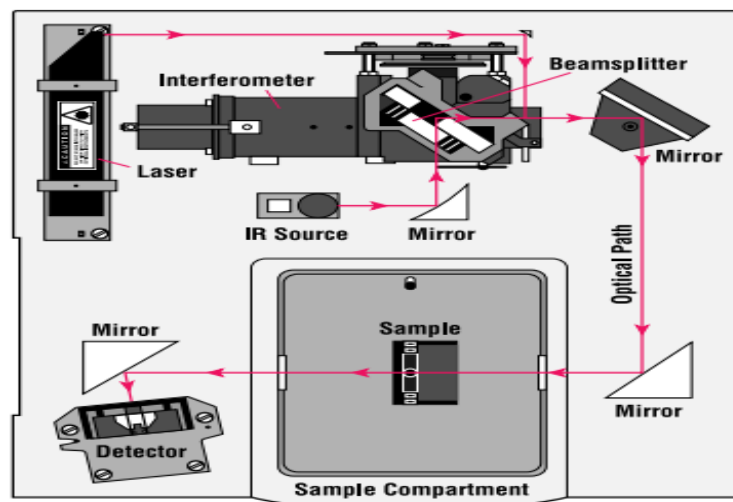
Wendri, N. 2016. Diktat Fisika Zat Padat 1. Indonesia. Bukit Jimbaran.

## LAMPIRAN B

### Spektroskopi *Fourier transformations Infrared* (FT-IR)

Pengujian FTIR ini terdiri dari lima proses instrumental untuk melakukan analisis pada sampel (Thermo Nicolet Corporation, 2001), antara lain:

- Sumber cahaya: energi inframerah diemisikan dari suatu sumber *black-body* yang berpijar. Berkas ini akan melalui suatu bukaan yang akan mengatur besarnya energi input untuk sampel
- Interferometer: berkas akan memasuki interferometer dimana *spectral encoding* dilakukan.
- Sampel uji: berkas akan mengenai sampel uji, dimana akan ada yang diserap dan ditransmisikan. Dari hal inilah akan membedakan sampel yang satu dengan. Hal ini dikarenakan karakteristik yang unik dari sampel akan menghasilkan frekuensi yang diserap dan ditransmisikan berbeda-beda.



Gambar B- 1 Skema prinsip kerja FT-IR

- d. Detektor: berkas yang ditransmisikan ini nantinya akan melalui detektor untuk proses pengukuran akhir. Detektor yang digunakan didesain khusus untuk mengukur atau menangkap sinyal interferogram tertentu.
- e. Komputer: sinyal hasil pengukuran didigitalkan dan dikirim ke komputer dimana akan diproses dengan menggunakan *Fourier transformation*. Sehingga akan dihasilkan informasi spektrum inframerah dari sampel untuk bisa diinterpretasikan sesuai kepentingan dari pengguna (Gambar B-1).

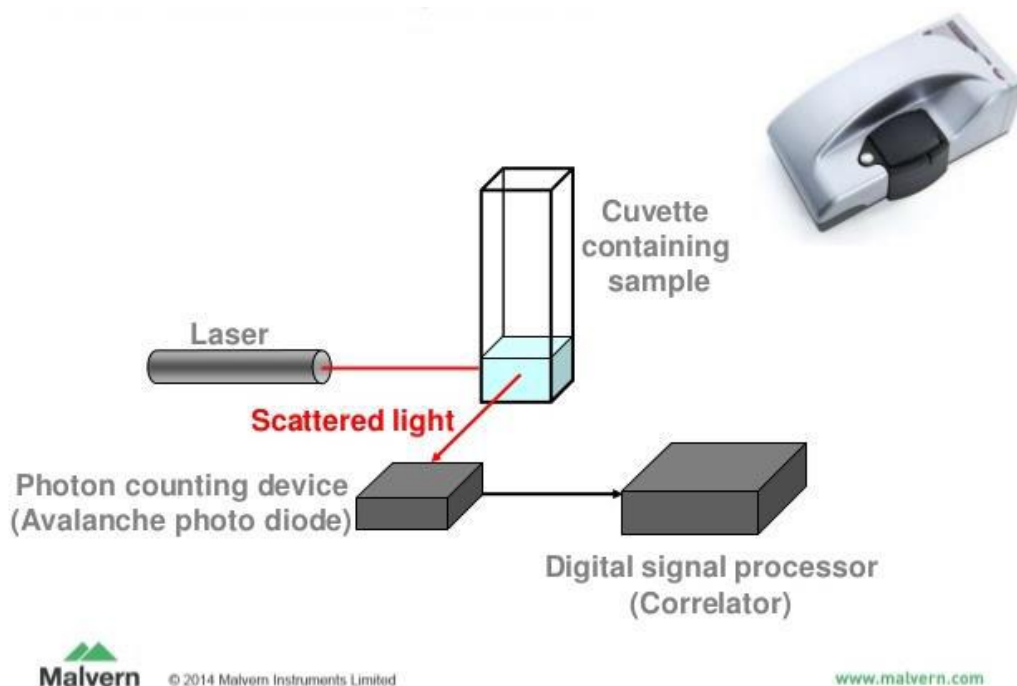
Referensi:

Vallikkodi Mahalingam. (2018). Synthesis, Growth and Characterization of Piperazium P-Aminobenzoate and Piperazium P Chlorobenzoate Nonlinear Optical Single Crystal. Thesis. Alagappa University.



## LAMPIRAN C

### *Physical Size Analyzer (PSA)*



Gambar C- 1 skema PSA

Pengujian menggunakan alat ini hanya bisa dilakukan pada sampel yang terdispersi dengan range ukuran dari 1 nm sampai dengan 1  $\mu\text{m}$  dan tidak sesuai pada sampel kering (*dry sample*). Hal ini bersesuaian dengan prinsip gerak *brownian* yang diperlukan agar pengujian ini dapat dilakukan, karena persyaratan dari pengujian dengan menggunakan prinsip *dynamic light scattering* yang memanfaatkan hamburan sinar akibat partikel yang mengalami pergerakan secara acak. Pada pengujian ukuran partikel ini, terdapat beberapa asumsi yang digunakan, yang mana disebabkan oleh penggunaan prinsip *dynamic light scattering* sebagai prinsip pengukurannya, antara lain:

- Semua partikel adalah *spherical* dan homogen secara optik.
- Partikel bersifat bebas. Dalam hal ini, partikel mengalami gerakan acak dalam suatu fluida (pelarut) atau yang disebut dengan gerak *Brownian*.
- Antar partikel tidak terjadi interaksi (terdispersi secara sempurna dimana antar partikel memiliki jarak yang berjauhan)

Berikut adalah tahapan dalam pengujian untuk mendapatkan ukuran partikel melalui proses pengukuran pada hamburan sinar dinamik, antara lain:

- a. Sampel yang telah terdispersi dalam pelarut diletakkan di dalam cuvet dan dimasukkan kedalam alat.
- b. Sumber cahaya monokromatik ditembakkan pada sampel yang diuji.
- c. Partikel yang mengalami gerak *Brownian* akan menyebabkan hamburan pada sinar yang ditembakkan. Hamburan ini yang akan ditangkap oleh detektor dan akan diolah hingga mendapatkan nilai diameter dari partikel sampel yang diuji.

Referensi:

[https://www.slideshare.net/Malvern\\_Instruments/charcnanobubbles-ultra-fine-bubbles](https://www.slideshare.net/Malvern_Instruments/charcnanobubbles-ultra-fine-bubbles)

Diakses pada 04/012/2019

## LAMPIRAN D

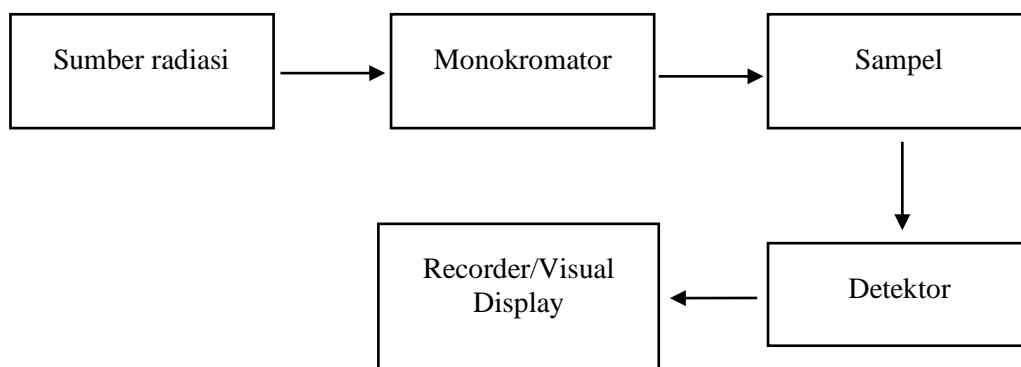
### Spektroskopi UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis melibatkan spektroskopi foton di rentang UV-Vis. Alat pengukuran UV-Vis menggunakan cahaya pada rentang ultraviolet, cahaya tampak dan dekat inframerah. Panjang gelombang yang digunakan pada ultraviolet pada rentang 190-380 nm dan rentang 380-780 nm pada cahaya tampak. Pada umumnya, prinsip kerja spektrofotometer berdasarkan Hukum Lambert Beer yaitu bila ada cahaya monokromatik yang melewati suatu media, maka yang terjadi adalah sebagian cahaya tersebut akan diserap (absorpsi), dipantulkan (refleksi), dan dipancarkan. Pada spektrofotometri absorpsi UV-Vis interaksi yang diamati adalah adanya absorpsi pada panjang gelombang tertentu di daerah UV-Vis oleh material yang dianalisa.

Persamaan umum Hukum Lambert Beer menyatakan

$$A = a \cdot b \cdot c \quad (D-1)$$

dimana, A adalah absorbansi (a.u); a adalah aonstanta/absortivitas (L/mol.cm); b adalah aebal sel (cm); dan c adalah konsentrasi (mol/L).



Gambar D-1. Skema sederhana prinsip kerja UV-Vis

Cara kerja spektrofotometer UV-Vis secara umum yaitu, sumber radiasi (sinar) diarahkan ke monokromator, kemudian dari monokromator cahaya diteruskan ke sampel. Setelah itu, cahaya dari sampel akan diterima detektor, cahaya yang diterima tersebut diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik tersebut kemudian diproses dan diubah ke digital dan dibaca oleh *output* berupa *recorder/visual display*. Gambar D-1 menampilkan skema kerja dari

spektrofotometer UV-Vis. Selain itu, teori Tauc juga digunakan untuk melihat energi gap ( $E_g$ ) dari penyerapan. Hubungan matematis dari energi gap adalah :

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \quad (D-2)$$

dimana,  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi;  $h$  adalah konstanta *planck*;  $\nu$  adalah frekuensi gelombang;  $A$  adalah koefisien absorpsi; dan  $E_g$  adalah energi gap. Untuk menentukan energi gap dari sampel,  $(\alpha h\nu)^2$  sebagai fungsi energi foton  $h\nu$  diplotkan dan hubungan tersebut dihasilkan energi gap.

$$\alpha = \frac{\ln(\frac{100}{T})}{d} \quad (D-3)$$

$$A = -\log T \quad (D-4)$$

$$T = 10^{-A} \quad (D-5)$$

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (D-6)$$

Energi celah pita optik diambil di daerah energi rendah yang sesuai dengan energi celah pita optik material (Paranjpe, 2017). Nilai sumbu vertikal=0, maka energi celah pita optik dihasilkan dari plot  $(\alpha h\nu)^2$  terhadap foton ( $h\nu$ ) dengan mengekstrapolasi garis linear ke sumbu-X (sumbu ( $h\nu$ )) sesuai dengan trend terbentuknya grafik, maka garis akan memotong sumbu-X seperti pada hukum *tauc plot* (Timuda, 2010). Nilai perpotongan menunjukkan *optical band gap* (Hassanien & Akl, 2016).

Hasil dari Spektroskopi UV-Vis nilai indeks bias ( $n$ ) dapat diperoleh dengan persamaan (4.9) (Rakspun, Kantip, Vailikhit, Choopun, & Tubtimtae, 2018)(Rakspun, Kantip, Vailikhit, Choopun, & Tubtimtae, 2018)(Rakspun, Kantip, Vailikhit, Choopun, & Tubtimtae, 2018)(Rakspun et al., 2018).  $T$  merupakan transmitansi yang diperoleh dari hasil UV-Vis, sehingga nilai indeks bias yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.35.

$$R(\lambda) = \frac{\exp(-\alpha t) \pm \sqrt{\exp(-\alpha t)T - \exp(-3\alpha t)T + \exp(-2\alpha t)T^2}}{\exp(-\alpha t)T + \exp(-2\alpha t)T} \quad (D.7)$$

$$n = \frac{-(R+1) \pm 2\sqrt{R}}{R-1} \quad (D.8)$$

Rakspun, J., Kantip, N., Vailikhit, V., Choopun, S., & Tubtimtae, A. (2018). Multi-phase structures of boron-doped copper tin sulfide nanoparticles synthesized by chemical bath deposition for optoelectronic devices. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 115(December 2017), 103–112.

Timuda, E. (2010). Pengaruh Ketebalan terhadap Sifat Optik Lapisan

Semikonduktor Cu<sub>2</sub>O yang Dideposisikan dengan Metode Chemical Bath Deposition ( CBD ), 28(November), 1–5.

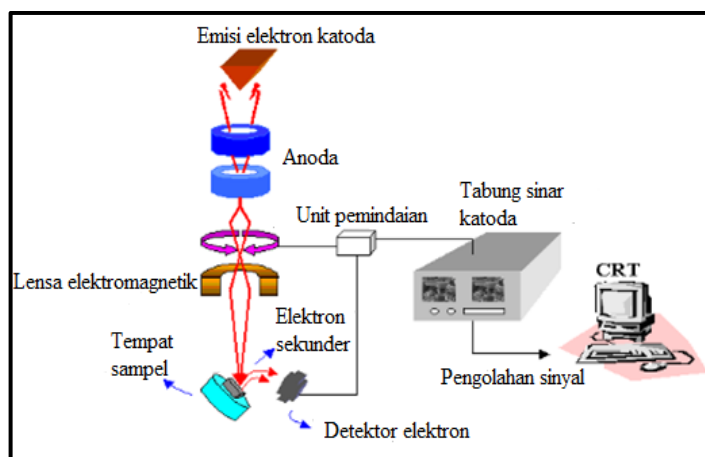


## LAMPIRAN E

### *Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersion X-Ray (EDX)*

SEM adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengkaji morfologi permukaan sampel. Dalam teknik ini, elektron digunakan dan bukan cahaya untuk melihat mikrostruktur permukaan sampel. Dalam FESEM, elektron yang dilepaskan biasanya pada tegangan 5-20 kV, dan keberadaan magnet membentuk elektron dalam skala nanometer. Apabila elektron bertenaga tinggi menumbuk permukaan sampel, elektron sekunder akan dipancarkan dan sebagian elektron yang akan dituju akan diserap kembali. Selain itu, sinar-X juga dipancarkan hasil daripada peralihan elektron yang ada dalam sampel. Elektron akan berinteraksi dengan bagian tertentu yang mengenai sampel sehingga menghasilkan ciri-ciri permukaan, luas dan bentuk struktur sampel, komposisi dan struktur kristal.

Prinsip kerja dari FESEM yaitu elektron dibebaskan dari sumber emisi (electron gun) dan dipercepat pada gradien listrik yang tinggi. Elektron dalam kolom vakum (elektron primer) difokuskan dan dibelokkan oleh lensa elektronik untuk menghasilkan berkas yang tajam pada objek. Akibat induksi ini elektron sekunder terpancar dari objek. Sudut dan kecepatan dari elektron sekunder tersebut berkaitan dengan struktur permukaan objek. Setelah itu, elektron sekunder ditangkap oleh detektor dan menghasilkan sinyal elektronik. Sinyal ini diperkuat dan diubah ke video scan-gambar yang dapat dilihat pada monitor, dapat disimpan dalam bentuk gambar digital.



Gambar E- 1. Prinsip kerja FESEM (Abdullah, 2012)

Salah satu tambahan yang terdapat dalam SEM adalah EDX yang biasanya digunakan untuk mengkaji unsur maupun pencirian kimia. Sistem analisis EDX bekerja sebagai alat yang sepadu dengan SEM, dan tidak boleh beroperasi sendiri (Flewitt & Wild, 2003). Prinsip kerja dari EDX yaitu dengan merangsang emisi karakteristik sinar-X dari sebuah sampel. Kemudian sinar tersebut dapat mengeksitasi elektron pada kulit dalam, sehingga terdapat kekosongan/lubang pada eksiton yang ditinggalkan elektron sebelumnya. Setelah itu, elektron yang berada pada kulit yang lebih luar yang memiliki energi yang lebih tinggi mengisi lubang tersebut. Karena adanya perbedaan tingkat energi, maka akan dicitrakan dalam bentuk sinar-X. Pencitraan sinar-X tersebut memiliki energi yang diperoleh dari sampel dan diukur dengan spektrofotometer energi dispersif, sehingga hal ini memungkinkan untuk mengukur komposisi unsur dalam suatu sampel.

#### Referensi:

- Abdullah, M. 2012. Pengantar Nanoteknologi. Institut Teknologi Bandung: Bandung
- Flewitt, P. E. J. & Wild, R. K. 2003. *Physical Methods For Materials Characterisation*. London: *CRC Press*.



# LAMPIRAN F

## CAS SiO<sub>2</sub> GLASS SPHERE

<b>CAS</b>	<b>65997-17-3</b>
<b>Sinonim</b>	GLASS, fibre, fiberglass, fiberglass LIME GLASS, GLASS WOOL, GLASS BALLS, GLASS BEADS, Glass Fiber glass, oxide fibrousglass, GLASS POWDER, GLASS SPHERES, glassmicrobeads, Glass wool 50GR, GLASS WOOL 1 KG, GLASS WOOL 250 G, Glass wool 250GR, Fiber Glass Wool fibrousglassdust, Glass-fiber wool, Glassenamel19E110, GlasswoolwashedQP, glass wool powder, SILANIZED GLASS WOOL, GLASS WOOL, SILANIZED GLASS SPHERES, HOLLOW Glass, oxide, chemicals Glassysodiumphosphate, Phosphorusfurnaceslag, Sodium calcium zinc sili, glass wool micro powder, Sodium zinc poly phosphate, GLASS BEADS, ACID WASHED BRAND Petri dish, glass, fiber glass reinforcements, Sodium calcium polyp hosphate, Fibrous glass filter media soluble amorphous glass wool, Triton Kaowool Ceramic Fibre, CALCIUM ALUMINUM BOROSILICATE, Lead borosilicate glass enamel flux, Sodiumzincpotassiumpolyphosphate, Glass wool for laboratory use glass spheres(solid borosilicate) 13.0 micron, Barium Silicate Glass, Sodium calcium magnesium polyphosphate, Sodium calcium zinc silica poly phosphate, glass fibres loose - special purpose, glass fibre - from continuous filament BRAND? glass beaker with spout, low form BRAND? glass beaker with spout, tall form Sodium calcium magnesium silica polyp hosphate 12.5 micron, Strontium Borosilicate Glass 10.4 micron, Aluminosilicate Glass Ceramic 7.5 micron, Barium Boroaluminosilicate Glass 19.0 micron, Barium Boroaluminosilicate Glass 11.2 micron, Barium Boroaluminosilicate Glass Caterpillar Glas-Shot, Microbeads, Macrobeads 0.7 micron, silanated Barium Boroaluminosilicate Glass, 30% BaO 0.7 micron, silanated Barium Boroaluminosilicate Glass, 33% BaO Fibrous glass: (Fiber glass: Glass frit: Synthetic vitreous fibers)
<b>EINECS(EC#)</b>	266-046-0
<b>Molecular Formula</b>	O2Si
<b>MDL Number</b>	MFCD00081645
<b>Melting point</b>	680 °C
<b>Boiling point</b>	1000 °C
<b>EPA Substance Registry System</b>	Glass, oxide, chemicals
<b>Raw materials</b>	Sodium carbonate-->Celite -->CALCIUM CARBONATE-->Barium carbonate-->Magnesium carbonate-->POLY(1,4-BUTYLENE TEREPHTHALATE)-->Arsenic(III) oxide -->Dolomite (CaMg(CO3)2), dead-burned refractory
<b>Preparation Products</b>	Phenol-->PHENOL-FORMALDEHYDE RESIN-->POLY(1,4-BUTYLENE TEREPHTHALATE)-->POLYSULFONE-->Glass fiber reinforced plastic cooling tower-->Maleimide-->nylon 1010-->NYLON 6-->POLY(1,4-PHENYLENE SULFIDE)-->polymer electret

*Halaman ini sengaja di kosongkan*

## LAMPIRAN G

### HASIL PERHITUNGAN EFISIENSI

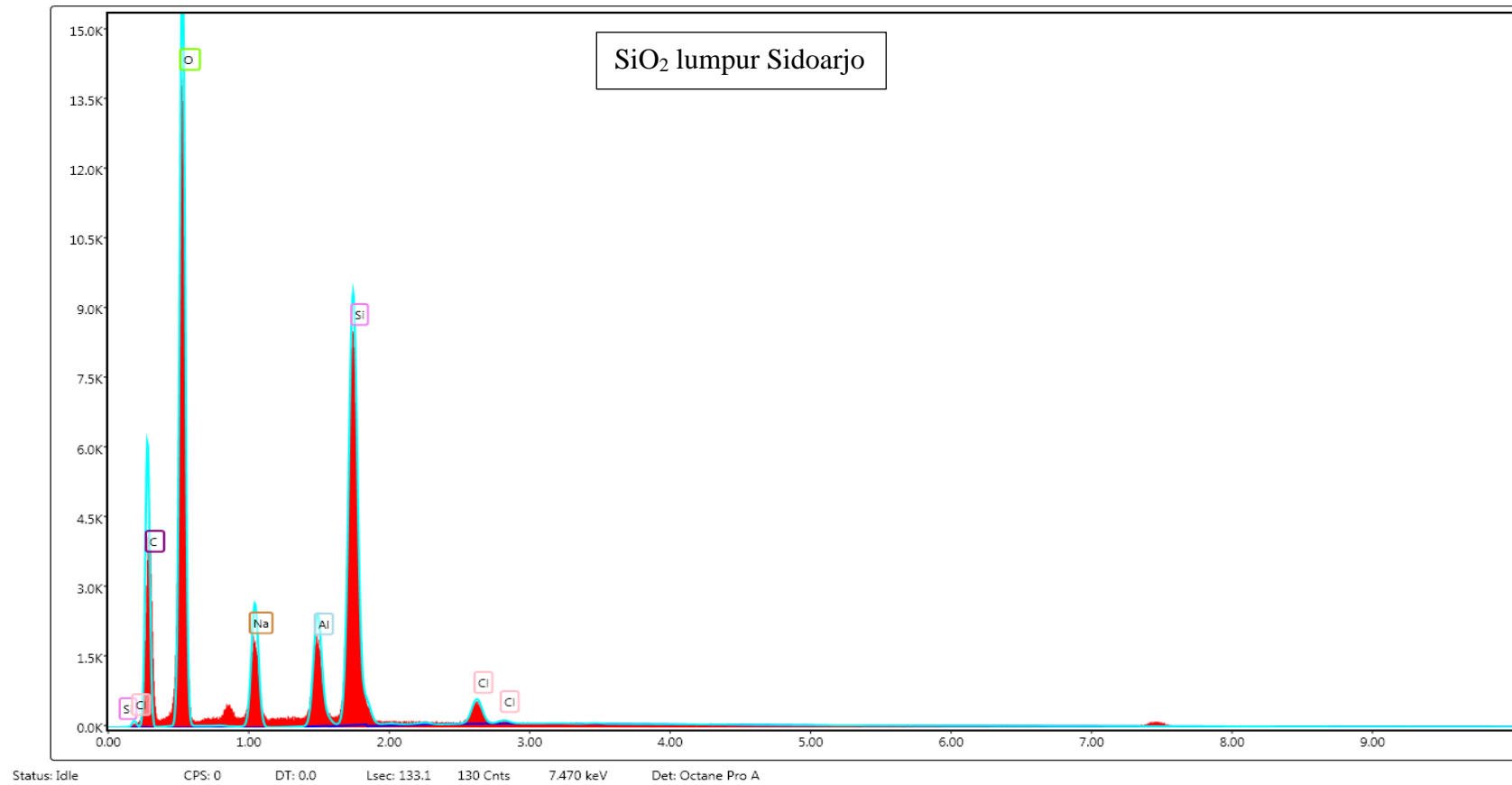
Tabel G- 1. Hasil perhitungan efisiensi DSSC

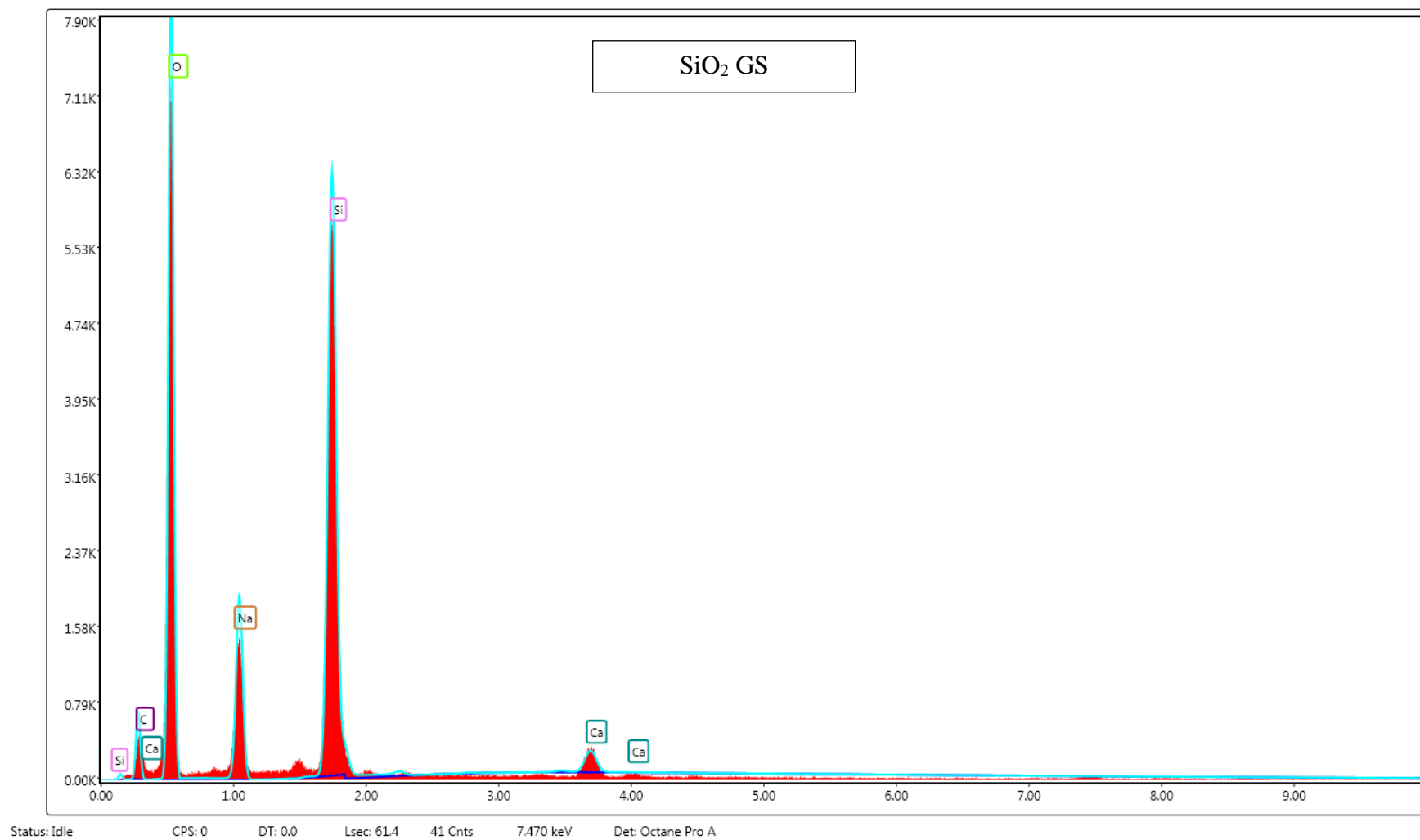
Sampel		Voc	Isc	Jsc	Vmmp	Jmmp	Imm	Pmax	FF	FF %	efisiensi	% terhadap SiO <sub>2</sub>	% persampel
0%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpur SIdoarjo	0,551	0,017	0,069	0,341	0,043	0,011	0,004	0,389	38,862	0,015		
5%		0,601	0,012	0,049	0,361	0,037	0,009	0,003	0,447	44,710	0,013	-11,108	-11,108
10%		0,721	0,015	0,061	0,471	0,047	0,012	0,006	0,502	50,188	0,022	33,177	39,857
20%		0,771	0,018	0,071	0,491	0,042	0,010	0,005	0,378	37,806	0,021	28,249	-7,374
0%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> GS	0,681	0,015	0,061	0,401	0,045	0,011	0,004	0,432	43,241	0,018		
5%		0,700	0,014	0,057	0,431	0,042	0,010	0,005	0,452	45,159	0,018	0,564	0,564
10%		0,800	0,015	0,058	0,481	0,041	0,010	0,005	0,425	42,519	0,020	9,084	8,568
20%		0,691	0,016	0,065	0,441	0,044	0,011	0,005	0,433	43,311	0,020	8,232	-0,936
5%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> lumpur SIdoarjo	0,501	0,0077	0,0306	0,361	0,020	0,0050	0,0018	0,47	46,89	0,007	-105,21	-105,21
10%		0,671	0,0152	0,0609	0,481	0,036	0,0089	0,0043	0,42	41,85	0,017	13,64	57,92
20%		0,641	0,0199	0,0795	0,371	0,055	0,0139	0,0051	0,40	40,36	0,021	28,19	16,84
5%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub> GS	0,651	0,0179	0,0717	0,410	0,047	0,0118	0,0049	0,42	41,70	0,019	7,66	7,66
10%		0,800	0,0158	0,0631	0,491	0,042	0,0104	0,0051	0,40	40,36	0,020	11,87	4,57
20%		0,830	0,0125	0,0498	0,551	0,042	0,0104	0,0057	0,56	55,58	0,023	21,86	11,33

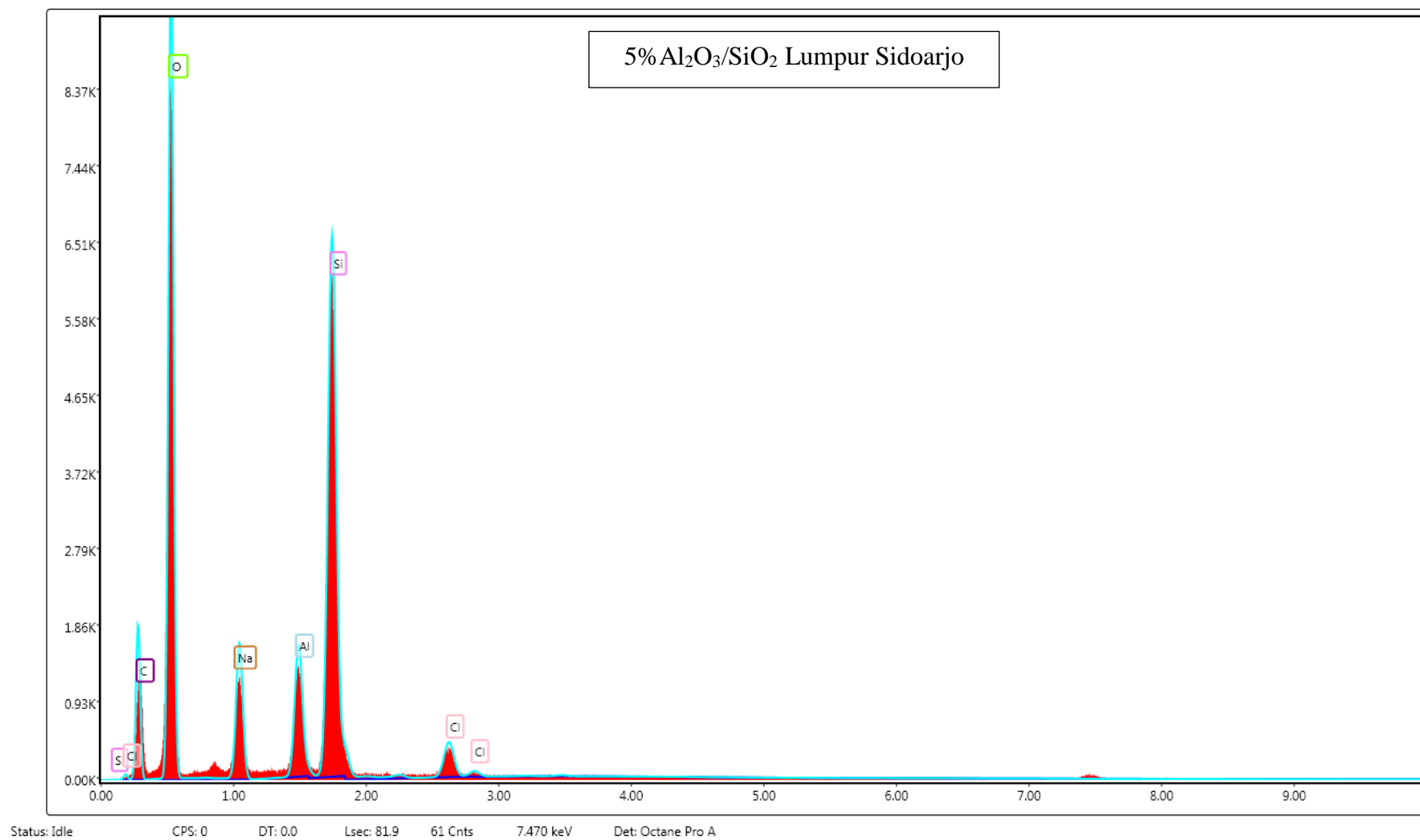
*Halaman ini sengaja di kosongkan*

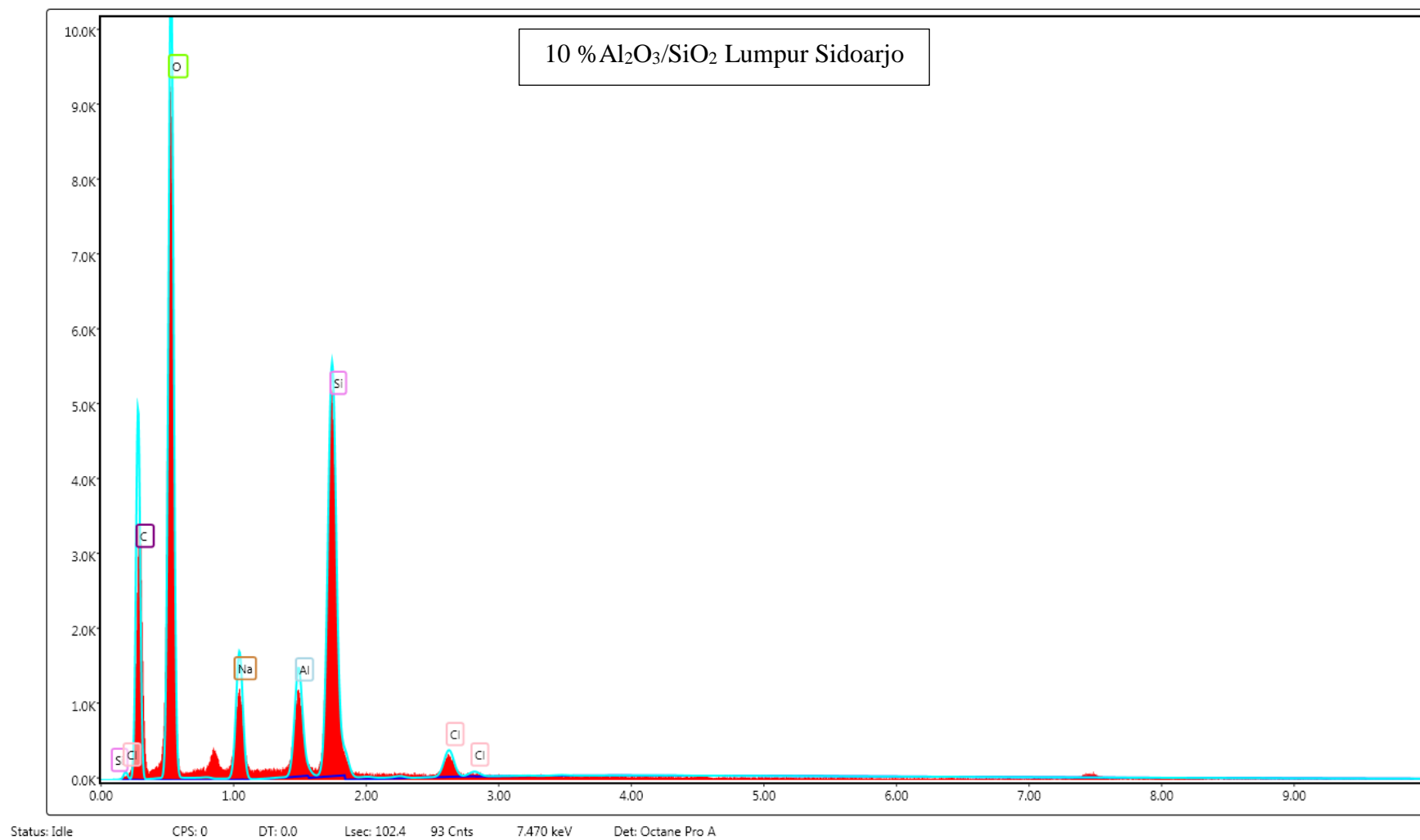
## LAMPIRAN H

### Hasil EDX

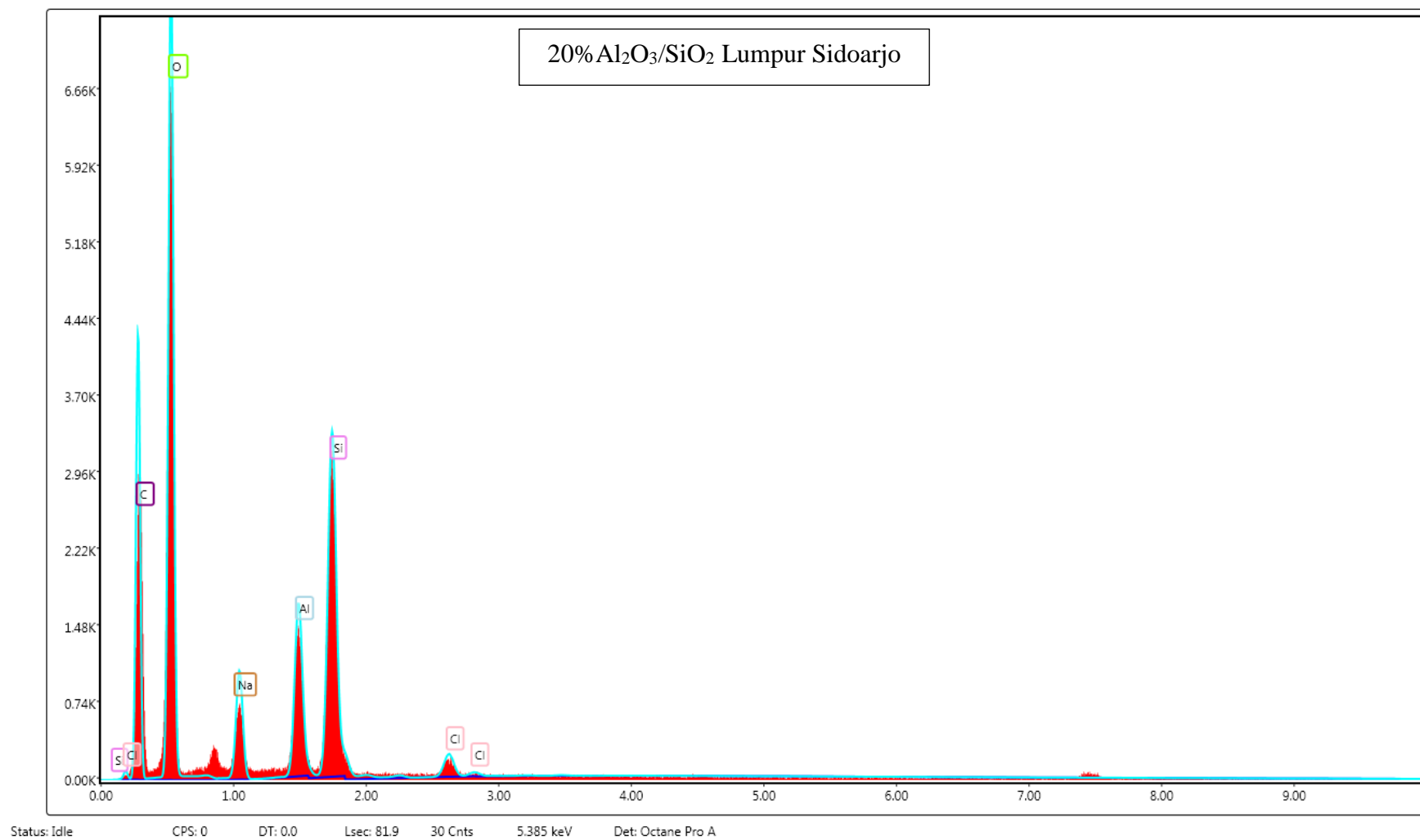


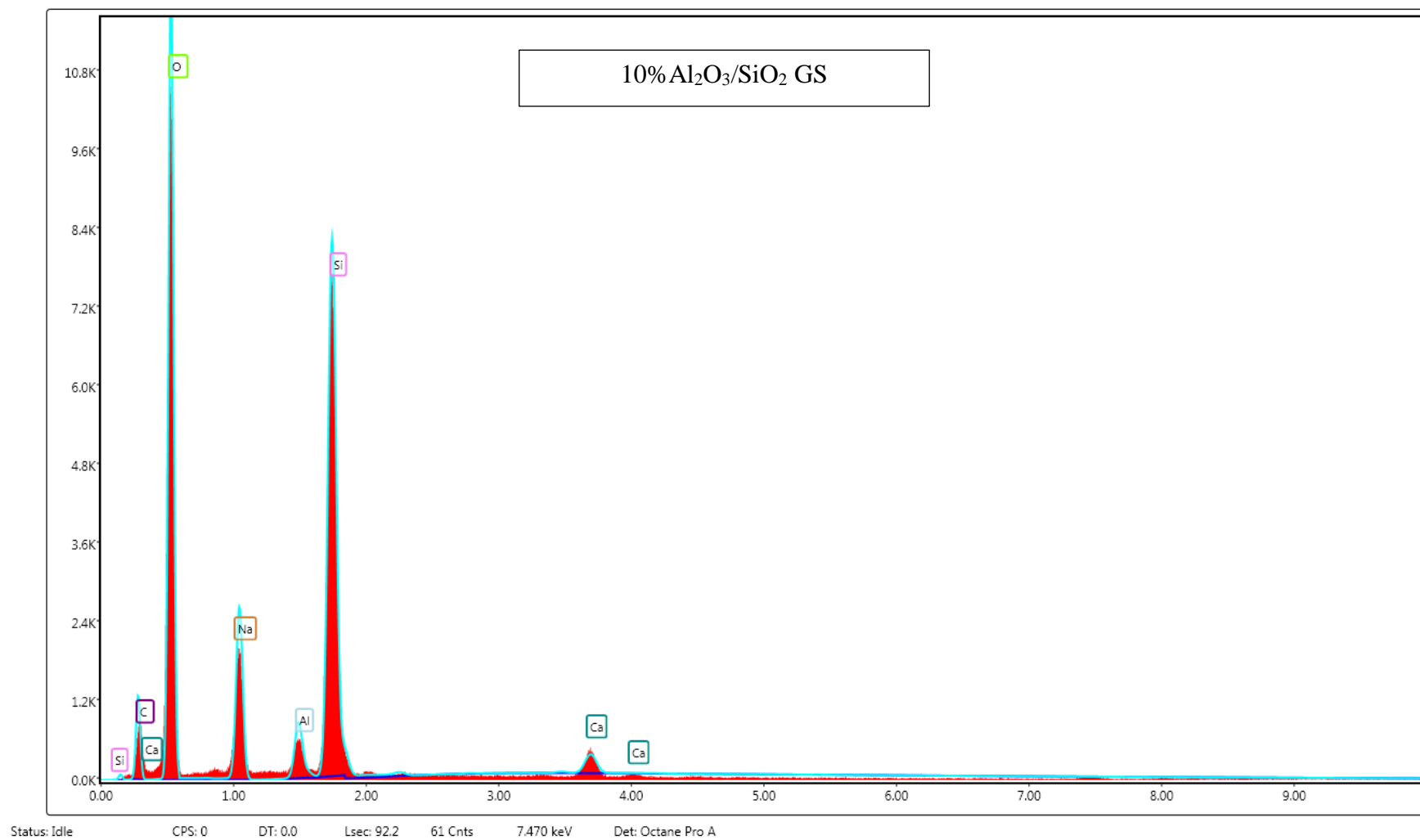


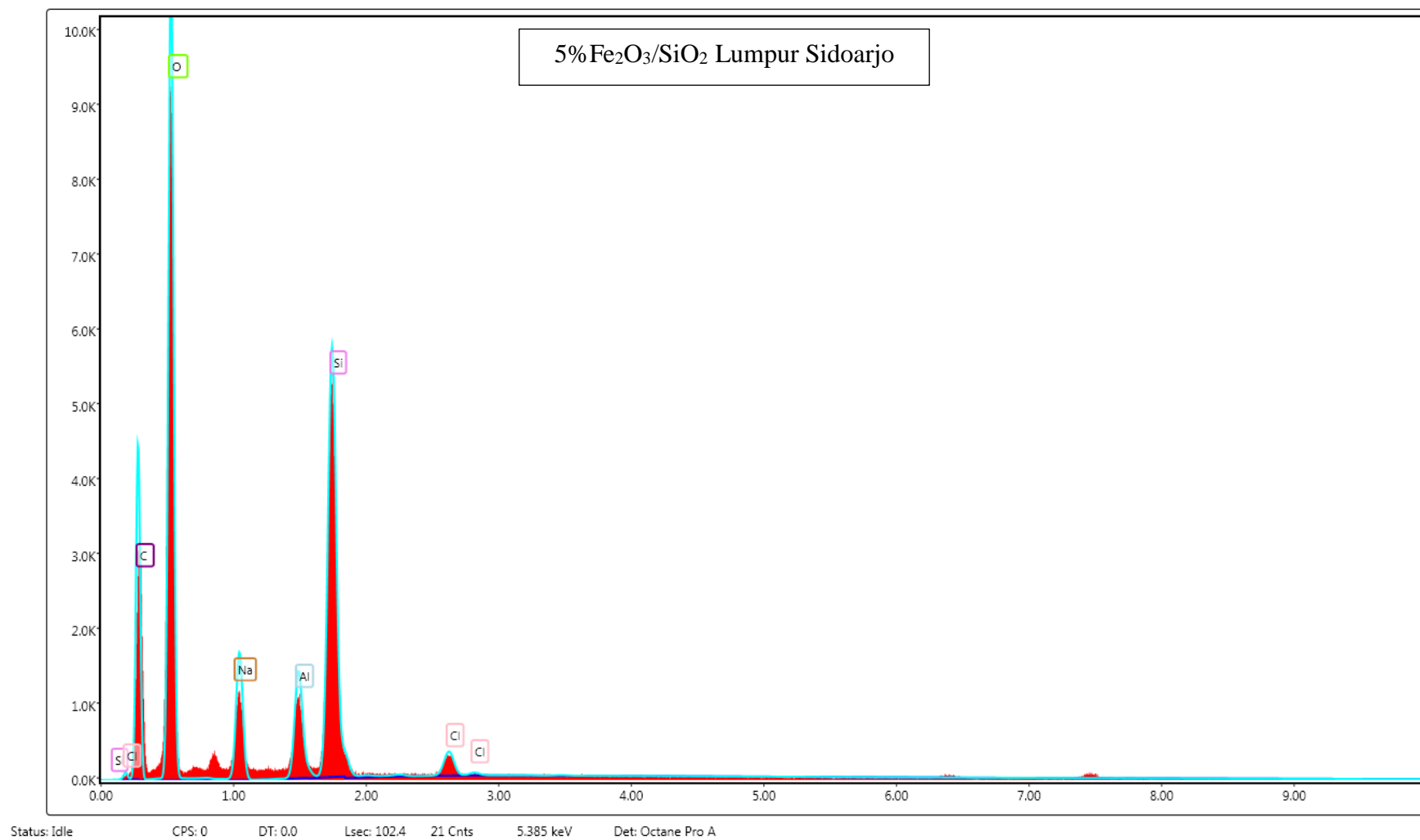


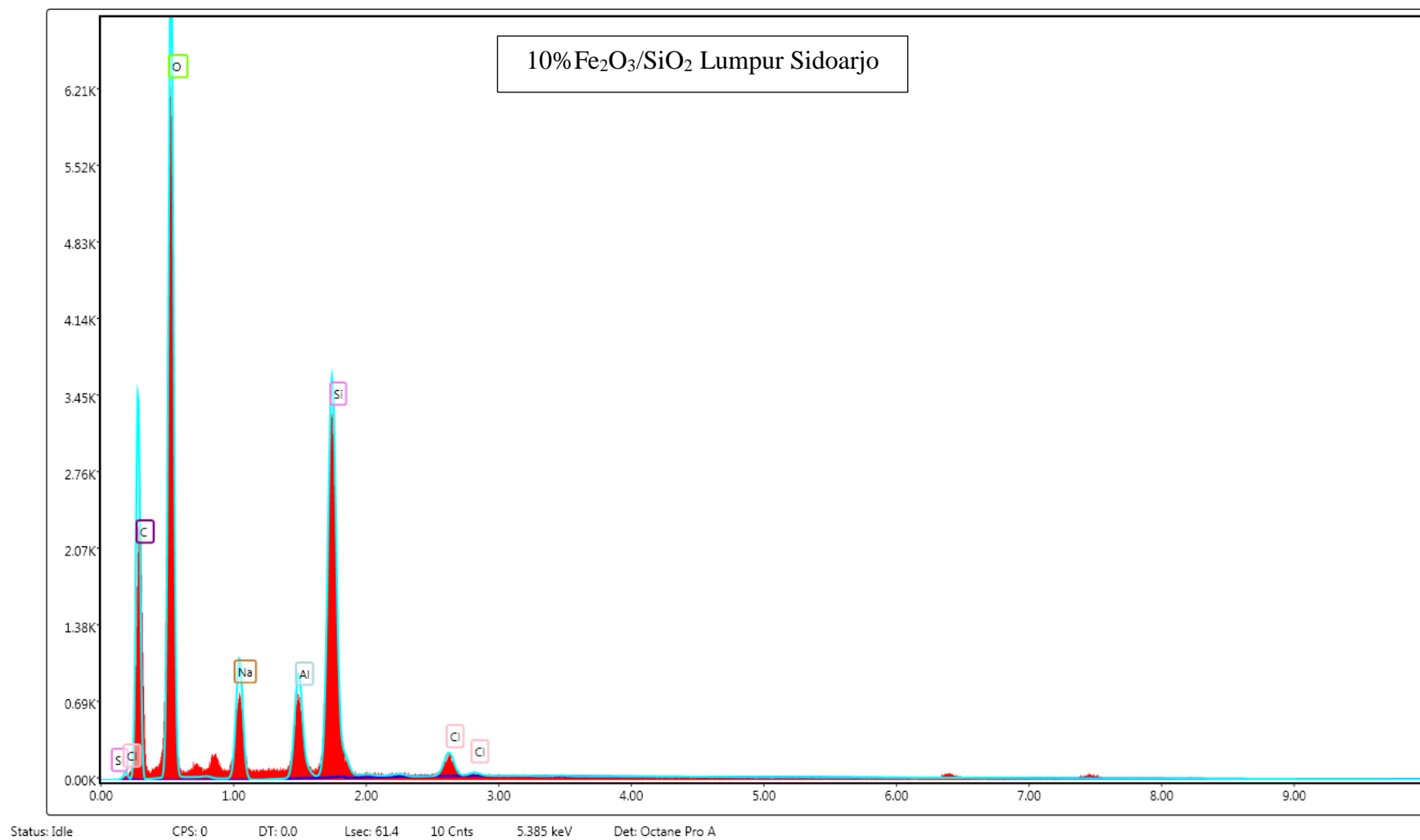


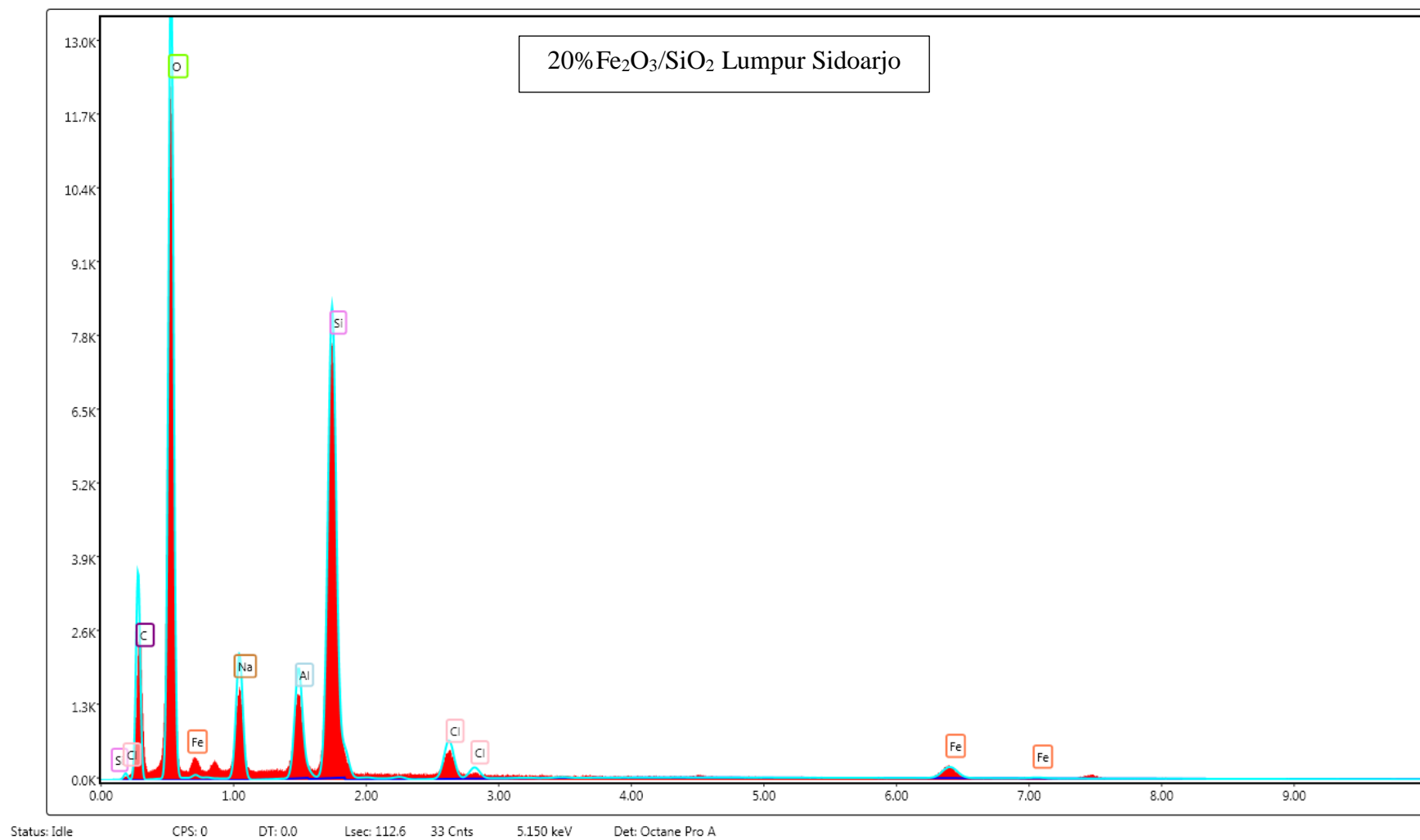


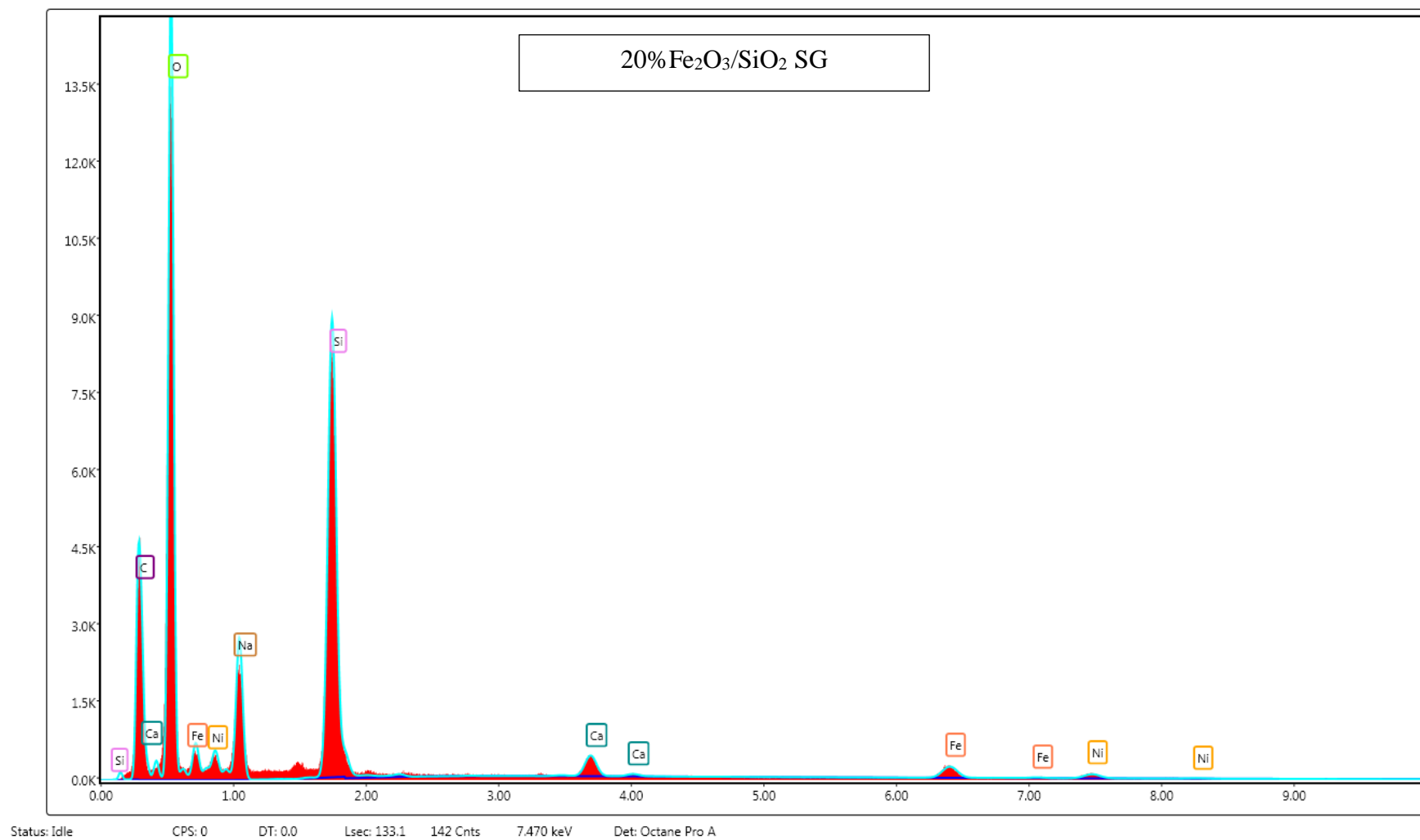












## BIODATA PENULIS



**Puji Nurrahmawati** adalah anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan ayahanda Sucipto, S.Kom dan ibunda Sumilah. Penulis lahir di Pasir Baru, Pasir Pengaraian pada tanggal 29 Januari 1993. Penulis tinggal di jl. Ciptakarya, Transjins no 22, Tampan, Pekanbaru. Pada saat menyelesaikan S1 penulis mendapatkan beasiswa BBM (2013) dan Pemerintah Provinsi Riau (2014). Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Simandolak, Taluk Kuantan, Kab. Kuantan Sengingi. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Gerbang Multindo Nusantara (GMN) sebagai salah satu mata kuliah Pascasarjana. Penulis dapat dihubungi melalui email : [Puji07nurrahmawati@gmail.com](mailto:Puji07nurrahmawati@gmail.com).

### Riwayat Pendidikan

- 2016-2019 : S2-Teknik Fisika, Bidang Keahlian Rekayasa Energi terbarukan, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember
- 2011-2016 : S1-Fisika, Universitas Riau
- 2008-2011 : SMK Farmasi Ikasari yayasan Universitas Riau
- 2008-2005 : SMPN 8 Pekanbaru
- 1999-2005 : SDN 006 Tampan, Pekanbaru

### Penelitian

- 2019 Pengaruh Penambahan  $Al_2O_3$  dan  $Fe_2O_3$  pada  $SiO_2$  Ekstraksi Lumpur Sidoarjo sebagai Dielektrik dan Penghambur Cahaya pada *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) (Tesis)
- 2016 Penumbuhan Nanorod ZnO di-*doping* Aluminium dengan Variasi Persentase Konsentrasi dan Efeknya Terhadap Performansi *Dye Sensitized Solar Cells* (Skripsi)

## Publikasi

- 2018 Investigation on Optical Properties of SiO<sub>2</sub>  
Extracted from Sidoarjo Mud with  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Nanoparticle Addition for DSSC (Dye-Sensitized  
Solar Cells) Applications (EPIC 2018)
- 2016 Optimalisasi Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (Jurnal Material dan  
dengan Penambahan Doping Logam Aluminium Energi Indonesia,  
pada Material Aktif Nanorod ZnO Menggunakan Vol. 6, No. 1 (2016)  
Metode Hidrotermal 26-43)
- 2016 Penumbuhan Nanorod ZnO Yang Di-Co-Doping  
Al-Ga dan Pengaruhnya Terhadap Efisiensi DSSC (PIMNAS)
- 2015 ZnO Nanostruktur (GAZO) And Performance Dye  
Sensitized Solar Cells (DSSC) (Poster Terbaik)